

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

BORANG PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN

TAJUK PROJEK : Characterisation of Malaysian Residual Soil For Geotechnical and
Construction Engineering

Saya


PROF MADYA DR AMINATON MARTO
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan **Laporan Akhir Penyelidikan** ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. * Sila tandakan (/)

<input type="checkbox"/>	SULIT	(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).
<input type="checkbox"/>	TERHAD	(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).
<input type="checkbox"/>	TIDAK TERHAD	
<input checked="" type="checkbox"/>		

TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK


Nama & Cop Ketua Penyelidik
PROF. MADYA DR. AMINATON MARTO
FAKULTI KEJURUTERAAN AWAM
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA
SKUDAI, 81310 UTM SKUDAI

JOHOR
19 SEP 2005

CATATAN : * Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

**CHARACTERISATION OF MALAYSIAN RESIDUAL SOILS FOR
GEOTECHNICAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING**

**(PENCIRIAN TANAH BAKI MALAYSIA BAGI KEJURUTERAAN
GEOTEKNIK DAN PEMBINAAN)**

AMINATON MARTO

FAUZIAH KASIM

RESEARCH VOTE NO:

72256

Jabatan Geoteknik dan Pengangkutan

Fakulti Kejuruteraan Awam

Universiti Teknologi Malaysia

PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih ditujukan buat Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar di atas pemberian peruntukan gran vot projek IRPA 72256 bagi menjalankan projek ini. Tidak lupa juga penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada pihak Universiti Teknologi Malaysia (UTM) khususnya pihak Pusat Pengurusan Penyelidikan yang banyak membantu di dalam pengurusan penyelidikan ini.

Penghargaan turut ditujukan kepada Juruteknik Kanan, En. Abdul Samad Salleh serta Juruteknik-Juruteknik Makmal Geoteknik, Fakulti Kejuruteraan Awam iaitu En. Zulkifly Wahid, En. Kamarulzaman Ismail dan En. Sahak Tokol kerana banyak membantu menyediakan peralatan dan juga bahan-bahan untuk menjalankan kajian.

Tidak lupa juga terima kasih diucapkan kepada Pengarah IKRAM Geotechnics Sdn. Bhd., Pengurus IKRAM Selatan, Pakar Geologi IKRAM Selatan, Pakar Geologi IKRAM Utara, Jurutera GEOLAB (M) Sdn. Bhd. serta Pengurus Sinar Development Sdn. Bhd., yang telah memberi bantuan dalam mendapatkan sampel tanah.

Penulis juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada ahli keluarga dan rakan penyelidik di atas bantuan, sokongan dan galakan mereka terutama kepada En. Khairul Nizar Mohd Yusof dan En. Mohd Fairus Yusof yang telah banyak membantu menjalankan projek penyelidikan ini. Selain daripada itu, penghargaan ini juga ditujukan kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam membantu menyiapkan projek dan penulisan laporan projek ini, terutamanya En. Badrul Hisham Hasbi.

ABSTRAK

Tanah baki adalah tanah yang terbentuk daripada proses luluhawa ke atas batuan. Walaupun banyak kajian telah dilakukan terhadap sifat-sifat kejuruteraan tanah baki, namun kajian berkaitan mineralogi, mikrostruktur, mikrofabrik dan komposisi kimia dan hubungan antara sifat-sifat tanah baki, walaupun amat penting, masih kurang dijalankan di Malaysia. Tambahan pula korelasi yang terhasil bagi ciri-ciri kejuruteraan bagi tanah baki granit juga adalah kurang. Pengetahuan tentang kelakuan dan korelasi-korelasi antara sifat-sifat tanah adalah penting dan berguna bagi kerja rekabentuk dan ramalan pembinaan. Sifat-sifat mineralogi, mikrostruktur, mikrofabrik dan komposisi kimia boleh dihubungkan dengan sifat-sifat fizikal dan kejuruteraan tanah baki, dan maklumat ini boleh digunakan dalam rekabentuk struktur di atas atau di dalam tanah jenis ini. Objektif-objektif kajian ini adalah untuk menentukan sifat-sifat kejuruteraan tanah, komposisi kimia tanah, mineralogi, mikrostruktur dan mikrofabrik tanah baki yang berasaskan batuan granit di Semenanjung Malaysia, menyediakan katalog ringkas berkaitan ciri-ciri tanah baki dan menghasilkan korelasi-korelasi antara sifat-sifat tanah baki granit tersebut. Sampel tanah baki granit bagi beberapa kedalaman telah diambil menggunakan pensampel berdinding nipis dan kaedah Mazier dari sembilan belas lokasi di Semenanjung Malaysia. Sifat-sifat asas tanah iaitu kandungan lembapan semulajadi, taburan saiz zarah, graviti tentu dan had-had Atterberg telah ditentukan. Selain itu, ujian kebolehmampatan satu dimensi dijalankan menggunakan peralatan oedometer bagi penentuan ciri-ciri kebolehmampatan dan pekali kebolehtelapan tanah tersebut. Kekuatan ricih tanah ditentukan menggunakan Sistem Digital Geoteknik (GDS), yang dilengkapi dengan tiga pengawal tekanan digital, interfasa tekanan digital dan sel tiga paksi Bishop Wesley bagi ujian ricih tiga paksi terkukuh tak bersalir, dengan pengukuran tekanan air liang. Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM), Tenaga Penyerakan Sinar-X (EDX), Pembelaan Sinar-X (XRD) dan Pendarflor Sinar-X (XRF) telah digunakan dalam menganalisa mineralogi, mikrostruktur dan mikrofabrik. Meter pH, Spektrofotometer DR4000 dan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) telah digunakan untuk menentukan komposisi dan parameter kimia tanah baki. Keputusan menunjukkan bahawa tanah baki granit tersebut boleh dikelaskan sebagai tanah pasir berkelodak dan/atau bertanah liat dengan keplastikan rendah sehingga tinggi. Kandungan lembapan semulajadi bertambah dengan kedalaman dan kandungan lempung dan kandungan lembapan tersebut berjulat di antara 10% - 46 %. Nilai graviti tentu didapati berjulat di antara 2.50 dan 2.74. Indeks mampatan, pekali pengukuhan dan pekali kebolehtelapan masing-masing berjulat 0.11–0.42, $1.53 \text{ m}^2/\text{tahun}$ – $49.64 \text{ m}^2/\text{tahun}$ dan $1.1 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ – $9.86 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Nilai kejelekitan berkesan pula berjulat antara 0 – 36.4 kN/m^2 manakala sudut geseran berkesan di antara 16° – 31° . Dalam kajian mineralogi dan mikrostruktur, kajian

menunjukkan kuarza dan kaolinit merupakan dua mineral major yang hadir dalam tanah baki granit manakala montmorilonit, ilit dan muskovit hadir sebagai mineral minor. Kehadiran mineral kaolinit menghasilkan fabrik tanah berbentuk empingan yang disusun secara rawak manakala mineral kuarza menghasilkan fabrik berbutir yang terhubung secara terselaput. Umumnya, kajian mikrostruktur tanah baki tersebut menunjukkan kehadiran matriks lempung, yang mana nilai pH bagi tanah tersebut ber julat antara 4.34 hingga 6.93. Ini menunjukkan tanah baki tersebut adalah berasid. Manakala julat kandungan sulfat dan klorida masing-masing adalah 2.21 ppm hingga 17.58 ppm dan 6 ppm hingga 75 ppm. Hasil ujikaji juga menunjukkan, kepekatan anion dan kation masing-masing bertambah dan berkurangan dengan pertambahan jarak cas-cas anion dan kation daripada permukaan lempung zarah-zarah tanah. Julat nilai kebolehpayaan pertukaran kation (KPK) didapati sebagai 0.34 meq/100 g hingga 12.88 meq/100 g. Beberapa kolerasi di antara sifat-sifat kejuruteraan tanah baki dapat ditentukan. Antaranya ialah had cecair, indeks keplastikan dan indeks mampatan didapati bertambah dengan pertambahan peratus lempung. Indeks mampatan dan pekali kebolehmampatan isipadu bertambah dengan pertambahan nisbah lompong. Indeks mampatan dan nisbah lompong asal bertambah, tetapi sudut geseran berkesan berkurang dengan pertambahan kandungan lempung. Korelasi antara nilai KPK dengan nilai pH, nilai kehilangan berat semasa pembakaran (LOI) dengan aluminium oksida (Al_2O_3) dan kandungan sulfat dan klorida dengan kedalaman, telah dihasilkan bagi tanah baki di bahagian Timur Semenanjung Malaysia. Keputusan menunjukkan nilai KPK dikawal oleh nilai pH yang tinggi. Manakala, sulfat dan klorida yang didapati wujud dalam tanah baki menunjukkan mineral-mineral tersebut bertambah dengan kedalaman. Korelasi antara Silikon Oksida dengan Indeks Keplastikan didapati berkecerunan songsang. Ini disebabkan oleh mineral kuarza yang mengurangkan sifat-sifat keplastikan tanah. Manakala Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang terkandung dalam lempung pula menambahkan sifat-sifat keplastikan tanah tersebut. Hasil korelasi yang diwujudkan ini boleh dijadikan panduan dalam rekabentuk awalan bagi pembinaan sesuatu struktur geoteknik di atas atau di dalam tanah baki Semenanjung Malaysia.

..

ABSTRACT

Residual soils are formed from the weathering process of rocks. Although there are many research has been conducted on engineering properties of residual soils, the study on mineralogy, microstructure, microfabric and chemical composition of residual soils, despite of its importance, is still lacking. In addition, correlations developed between the engineering properties of granitic residual soils are also still lacking. The knowledge of behaviour and correlations amongst the soil properties is important and useful for design works and construction practices. Properties of mineralogy, microstructure and microfabric and chemical composition can be correlated to physical and engineering characteristics of residual soils. This information can be used in the design of structures placed on and in residual soils. The objectives of the study are to determine engineering properties, chemical composition, mineralogy, microstructure and microfabric of granitic residual soil, as well as to catalogue briefly on properties of residual soils, and to form related correlation charts of granitic residual soils of Peninsular Malaysia, to produce basic catalogue of the properties, and to generate correlations between the properties of the granitic residual soils. Samples of the granitic residual soils at various depths were taken from nineteen locations in Peninsular Malaysia, using thin-walled and Mazier samplers. Basic properties of soils, i.e., natural water content, grain size distribution, specific gravity, and Atterberg limits were determined. In addition, one-dimensional consolidation tests were performed using oedometer apparatus for the determination of the compressibility characteristics and the coefficient of permeability of the soils. The shear strength of the soils was determined by using Geotechnic Digital System (GDS), which includes three digital controllers, digital pressure interface and Bishop Wesley's triaxial cell for an isotropic consolidated undrained test with measurement of pore water pressure. The Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Fluorescent (XRF) were used to analyse the mineralogy, microstructure and microfabric of granitic soils. The pH meter, Spectrophotometer DR4000 and Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) were used for the determination of the chemical compositions and parameter of the residual soils. The results show that, the granitic residuals soils can be categorised as silty and/or clayey sand of low to high plasticity. The natural moisture content increases with increasing depth and clay content and in the range of 10% to 46 %. Specific gravity values are found to be in the range between 2.50 and 2.70. The compression index, coefficient of consolidation, and coefficient of permeability are in the range of 0.11 – 0.42, 1.53 m²/year – 49.64 m²/year, and 1.1 x 10⁻¹¹ m/s – 9.86 x 10⁻⁹ m/s, respectively. The effective cohesion values are in the range of 0 – 36.4 kN/m², while the effective friction angles are in the range of 16° – 31°. The study on the mineralogy and the microstructure show that quartz and kaolinite are two major minerals that present in the granitic residual soils

while montmorillonite, illite and muscovite are the minor minerals. The presence of kaolinite minerals forms microfabric of flaky shape whereas quartz exists in granular form with clothed contacts. The study on microstructure of the residual soils show the existence of clay matrix with pH values of between 4.34 to 6.93, which indicate that the residual soils are acidic. The concentration of sulphate and chloride are in the range of 2.21 ppm to 17.58 ppm and 6 ppm to 75 ppm, respectively. The test results also show that the concentration of anion increases while the cation decreases with increasing distance from the surface of clay minerals. The values of cation exchange capacity (CEC) for the soil samples were found to be in the range 0.34 meq/100 g to 12.88 meq/100 g. Several correlations between the engineering properties of the residual soils were determined. Amongst them, the liquid limit, plasticity index and compression index were found to be increasing with increasing clay content. The compression index and coefficient of volume compressibility increase with increasing void ratio. The compression index and the initial void ratio increase, but the effective friction angle decreases, with increasing clay content. The correlation between CEC versus pH values, loss on ignition (LOI) versus aluminium oxides (Al_2O_3), sulphate and chloride contents with depths, were developed for the residual soils of the Eastern part of Peninsular Malaysia. The results show that CEC values are influenced by the high pH values. The sulphate and chloride, both found existed in the granitic soil samples, showed that they increased with depth. The correlation between Silicon Oxide and plasticity index is found to be inversely related; this is due to the existence of quartz minerals, which reduce the plasticity of soils, whereas Al_2O_3 and Fe_2O_3 in clay minerals increase the plasticity of the soils. The generated correlations can be used as guides for preliminary designs for geotechnical structures constructed on or in residual soil of Peninsular Malaysia.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGHARGAAN	ii
	ABSTRAK	iii
	ABSTRACT	v
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xv
	SENARAI RAJAH	xxi
	SENARAI SIMBOL	xxx
 BAB I	 Pengenalan	 1
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Objektif Kajian	3
	1.3 Skop Kajian	3
	1.4 Kepentingan Kajian	4
	1.5 Hasil yang Dijangkakan	5
 BAB II	 KAJIAN LITERATUR	
	2.1 Pengenalan	7
	2.2 Pembentukan Tanah Baki	9
	2.2.1 Proses Luluhawa	9
	2.2.2 Peranan Iklim	11
	2.2.3 Peranan Topografi	12

2.2.4	Batuan Induk	13
2.3	Pengelasan Tanah Baki	13
2.4	Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia	15
2.5	Pensampelan Tanah Baki	17
2.5.1	Sampel Tak Terganggu	17
2.5.2	Kaedah Pensampelan Tanah Baki	18
2.6	Pengujian Tanah Baki	20
2.6.1	Penyediaan Sampel Tak Terganggu	20
2.6.2	Kandungan Lembapan	21
2.6.3	Had Atterberg	22
2.6.4	Graviti Tentu Tanah	22
2.6.5	Taburan Saiz Zarah	23
2.6.6	Kekuatan Ricih dan Pengukuhan	23
2.7	Penggunaan Tanah Baki Granit	24
2.7.1	Asas	24
2.7.2	Pembentukan Cerun	25
2.7.3	Benteng dan Empangan Tanah	25
2.8	Sifat-sifat Fizikal Tanah Baki	26
2.8.1	Ciri-ciri Asas	26
2.8.2	Kedalaman	27
2.8.3	Kandungan Lembapan	28
2.8.4	Graviti Tentu	29
2.8.5	Taburan Saiz Zarah	30
2.8.6	Had Atterberg	32
2.9	Kebolehmampatan Tanah Baki	34
2.9.1	Pengukuhan dan Kebolehmampatan Tanah Semulajadi	35
2.9.2	Ciri-ciri Pengukuhan Tanah Baki	36
2.10	Ciri-ciri Kebolehtelapan Tanah Baki	38

2.10.1	Pengenalan	38
2.10.2	Ciri-ciri Kebolehtelapan	
	Tanah Baki	38
2.11	Kekuatan Ricih Tanah	40
2.11.1	Pengenalan	40
2.11.2	Penentuan Kekuatan Ricih Tanah	41
2.11.3	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tanah Baki	43
2.11.3.1	Sejarah Tegasan	43
2.11.3.2	Kekuatan Zarah/ Butiran	44
2.11.3.3	Ikatan	44
2.11.3.4	Struktur Ketakselajaran	45
2.11.3.5	Tak Isotropi	45
2.11.3.6	Nisbah Lompang atau Ketumpatan	45
2.11.4	Ciri-ciri Kekuatan Ricih Tanah Baki	46
2.12	Mineralogi	48
2.12.1	Kepentingan Mineralogi Tanah dalam Bidang Kejuruteraan Awam	49
2.3.2	Mineral Lempung	49
2.3.3	Pengecaman Mineralogi dan Kepekatan Kation dalam Tanah	54
2.13	Mikrofabrik dan Mikrostruktur	55
2.13.1	Struktur dan Fabrik Tanah	56
2.13.2	Fabrik dan Struktur Tanah Jelekit	57
2.12.3	Pengecaman Mikrofabrik dan Mikrostruktur dalam Tanah	59
2.14	Kimia Tanah	60

2.14.1	Keasidan Tanah	61
2.14.2	Pertukaran Ion	62
2.14.3	Kation Tukar Ganti	62
2.14.4	Kesan Pertukaran Ion dalam Geoteknik dan Geologi	63
2.14.5	Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)	63
2.15	Kajian Kimia dan Mineralogi Terhadap Tanah Baki	64
2.15.1	Kajian Kimia Tanah	65
2.15.2	Kajian Mineralogi dan Mikrostruktur Tanah	67
2.16	Korelasi-korelasi Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Baki	70
2.16.1	Korelasi Kandungan Lempung dengan Ciri-ciri Keplastikan Tanah Baki	71
2.16.2	Korelasi Parameter Pengukuhan Dengan Ciri-ciri Indeks	71
2.16.3	Korelasi Kebolehtelapan Dengan Kandungan Lembapan	73
2.16.4	Korelasi Kekuatan Ricih Dengan Ciri-ciri Indeks	73
2.16.5	Korelasi Unsur Oksida dengan Mineralogi Tanah Baki	74

BAB III PERALATAN UJIKAJI MAKMAL

3.1	Pengenalan	124
3.2	Ciri-ciri Indeks	124
3.2.1	Peralatan Analisis Taburan Zarah	124

3.2.2	Peralatan Penentuan Had	
	Atterberg	125
3.2.3	Peralatan Ujian Graviti Tentu	125
3.3	Pengukuhan Satu Dimensi	125
3.4	Sistem Digital Geoteknik (GDS)	126
3.4.1	Pengawal Tekanan Digital	126
3.4.2	Sel Tiga Paksi	127
3.4.3	Tekanan Digital Antara	
	Muka (DPI)	128
3.4.4	Perisian GDSLAB Versi 2	128
3.5	Kajian Mineralogi dan Kimia	129
3.5.1	Mikroskop Pengimbas Elektron	
	(SEM)	130
3.5.2	Pendarflor Sinar – X (XRF)	131
3.5.2.1	Had Pengesanan XRF	132
3.5.2.2	Teknik dan Kaedaan	
	Eksperimen bagi Analisis	
	XRF	132
3.5.3	Pembelauan Sinar – X (XRD)	133
3.5.3.1	Prinsip Kerja Peralatan	
	XRD	133
3.5.3.2	Keadaan Eksperimen bagi	
	Analisis XRD	135
3.5.4	Spektrofometer Serapan Atom	
	(AAS)	135
3.5.5	Spektrofometer DR4000	137

BAB IV METODOLOGI KAJIAN

4.0	Pengenalan	152
4.1	Program Ujikaji	152
4.2	Pensampelan	153
4.2.1	Lokasi Pensampelan	153

4.2.2	Pensampelan Tanah	154
4.3	Menentuukur Peralatan Makmal	155
4.3.1	Peralatan Hidrometer	155
4.3.2	Sistem Digital Geoteknik	157
4.3.3	Botol Piknometer	158
4.3.4	Tolok Dail	159
4.4	Ujian Makmal	159
4.4.1	Penyediaan Sampel Ujikaji	159
4.4.2	Ujian Pengelasan Tanah dan Indeks	160
4.4.3	Ujian Pengukuhan Satu Dimensi	161
4.4.4	Ujian Kekuatan Ricih	162
4.4.4.1	Penyediaan Peralatan Asas	162
4.4.4.2	Penyediaan Sel Tiga Paksi dan Sampel	165
4.4.4.3	Pengujian Sampel	167
4.4.5	Analisis Kimia Tanah	168
4.4.5.1	pH Tanah	169
4.4.5.2	Kepekatan Sulfat	170
4.4.5.3	Kepekatan Klorida	172
4.4.5.4	Kandungan Kation	173
4.4.5.5	Kandungan Elemen Oksida	173
4.4.5.6	Nilai Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI)	174
4.4.5.7	Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)	175
4.4.6	Penentuan Mikrostruktur dan Mineralogi Tanah	176

4.4.6.1	Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)	176
4.4.6.2	Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Pendaflor Sinar – X (XRF)	177
4.4.6.3	Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Pembelauan Sinar – X (XRD)	178

BAB V KEPUTUSAN DAN ANALISIS

5.0	Pengenalan	201
5.1	Kandungan Lembapan dan Graviti	
	Tentu	202
5.1.1	Kandungan Lembapan	202
5.1.2	Graviti Tentu	203
5.2	Taburan Saiz Zarah	204
5.3	Had Atterberg	205
5.3.1	Had Cecair	205
5.3.2	Had Plastik	207
5.3.3	Indeks Keplastikan	207
5.3.4	Indeks Kecairan	209
5.3.5	Aktiviti	209
5.4	Pengelasan Tanah	210
5.5	Ciri-ciri Pengukuhan	211
5.5.1	Nisbah Lompang	211
5.5.2	Tekanan Prapengukuhan	213
5.5.3	Indeks Mampatan	214
5.5.4	Pekali Kebolehmampatan	
	Isipadu	216

5.5.5	Pekali Pengukuhan	217
5.5.6	Pekali Kebolehtelapan	218
5.6	Kekuatan Tanah Baki	218
5.6.1	Pengenalan	218
5.6.2	Laluan Tegasan	219
5.6.3	Parameter Kejelekitan dan Sudut Geseran Berkesan	219
5.6.4	Parameter Keadaan Genting	221
5.7	Nilai pH	222
5.8	Peratus Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI)	223
5.9	Kandungan Sulfat, SO_4^{2-} dan Klorida, Cl^-	224
5.10	Peratus Kandungan Oksida	226
5.11	Kepekatan Kation	231
5.12	Mineralogi Tanah	234
5.13	Mikrostruktur dan Mikrofabrik Tanah	236
5.14	Carta Kolerasi	239

BAB VI KATALOG CIRI-CIRI KEJURUTERAAN, MINERALOGI, MIKROSTRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA

6.1	Pengenalan	320
6.2	Carta Korelasi dan Katalog Ringkas	321

BAB VII KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.1	Kesimpulan	353
7.2	Cadangan	359

SENARAI DOKUMEN RUJUKAN	361
--------------------------------	------------

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Jenis-jenis tanah baki serta struktur tanah	76
2.2	Perbandingan pelbagai kejuruteraan geologi dan skema geologi yang dicadangkan bagi pengelasan profil luluhawa dalam batuan igneus	78
2.3	Taburan hujan, suhu bulanan, kelembapan relatif dan penyejatan bulanan	79
2.4	Nilai N berbanding gred luluhawa	82
2.5	Kedalaman, kandungan lembapan dan graviti tentu tanah baki granit	84
2.6	Taburan saiz zarah tanah baki granit	87
2.7	Had - had Atterberg bagi tanah baki granit	91
2.8	Parameter Kebolehmampatan tanah baki granit	94
2.9	Kebolehtelapan profil luluhawa batuan igneus dan metamorfik	95
2.10	Kebolehtelapan tanah baki granit dan gneis	95
2.11	Kebolehtelapan tanah baki granit	96
2.12	Perbezaan ciri-ciri yang mempengaruhi kekuatan ricih tanah bagi tanah baki dan tanah terangkut	97
2.13	Kekuatan ricih tanah baki granit	98
2.14	Komposisi kerak bumi	101
2.15	Muatan pertukaran kation mineral lempung	110
2.16	Lokasi sampel tanah yang digunakan oleh Pengkaji Terdahulu	111

2.17	Kajian bagi nilai pH, kebolehpaya pertukaran kation (KPK) dan kepekatan Kation bagi tanah baki	112
2.18	Kajian peratusan elemen oksida bagi tanah baki Kajian	113
2.19	Mineralogi Tanah Baki	114
2.20	Kajian Mikrostruktur dan Mikrofabrik Tanah Baki	115
4.1	Sampel ujikaji dari bahagian Utara Semenanjung Malaysia	185
4.2	Sampel ujikaji dari bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	186
4.3	Sampel ujikaji dari bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	187
4.4	Sampel ujikaji dari bahagian Timur Semenanjung Malaysia	187
4.5	Program ujikaji bagi ciri-ciri fizikal	189
4.6	Kaedah, piawaian dan peralatan yang digunakan dalam analisis kimia	190
4.7	Sampel bagi penentuan ujian kekuatan ricih	191
4.8	Tekanan sel dan tekanan balik yang dikenakan pada setiap sampel	195
5.1	Nilai kandungan lembapan semulajadi dan graviti tentu	244
5.2	Kandungan zarah tanah dan pengelasan	247
5.3	Sifat-sifat keplastikan tanah baki granit	250
5.4	Parameter-parameter pengukuhan tanah	252
5.5	Parameter-parameter kekuatan ricih tanah	256
5.6	Parameter keadaan genting	260
5.7	Kepekatan sulfat dan klorida, nilai pH dan peratus kehilangan berat semasa pembakaran (LOI) di bahagian Utara dan Tengah Semenanjung Malaysia	261
5.8	Kepekatan sulfat dan klorida, nilai pH dan peratus kehilangan berat semasa pembakaran (LOI) di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia	262

5.9	Perbandingan nilai pH dan kepekatan anion dengan kajian lepas	263
5.10	Peratus kandungan oksida di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	264
5.11	Peratus kandungan oksida di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	265
5.12	Peratus kandungan oksida di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	266
5.13	Peratus kandungan oksida di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	267
5.14	Julat berat oksida di Semenanjung Malaysia	268
5.15	Nisbah berat oksida di bahagian Utara Semenanjung	268
5.16	Nisbah berat oksida di bahagian Tengah Semenanjung	269
5.17	Nisbah berat oksida di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia	270
5.18	Perbandingan nilai ujikaji unsur oksida dengan kajian lepas	271
5.19	Kepekatan kation di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	272
5.20	Kepekatan kation di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	273
5.21	Kepekatan kation di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia	274
5.22	Kebolehpaya penukaran kation (KPK) di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	275
5.23	Kebolehpaya penukaran kation (KPK) di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	276
5.24	Kebolehpaya penukaran kation (KPK) di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia	277
5.25	Julat kepekatan kation di Semenanjung Malaysia	278
5.26	Perbandingan kepekatan kation dan KPK dengan kajian lepas	278

5.27	Kandungan mineral di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	279
5.28	Kandungan mineral di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	280
5.29	Kandungan mineral di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	280
5.30	Kandungan mineral di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	281
5.31	Julat mineral major dan minor di Semenanjung Malaysia	281
5.32	Perbandingan nilai ujikaji bagi mineralogi antara pengkaji lepas dengan kajian yang dijalankan	282
5.33	Mikrostruktur dan mikrofabrik bagi sampel di seluruh Bahagian Semenanjung Malaysia	283
5.34	Perbandingan nilai ujikaji bagi mikrostruktur dan mikrofabrik antara pengkaji lepas dengan kajian yang dijalankan	284
5.35	Ketepatan korelasi	285
5.36	Ringkasan korelasi	286
5.37	Ciri-ciri fizikal tanah baki granit di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	287
5.38	Jadual korelasi di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	288
6.1	Kategori katalog	329
6.2	Jadual korelasi nilai pH dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	330
6.3	Jadual korelasi peratus LOI dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	330
6.4	Jadual korelasi kepekatan sulfat dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	331
6.5	Jadual korelasi kepekatan klorida dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	331

6.6	Jadual korelasi kepekatan klorida dengan kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	332
6.7	Jadual korelasi peratus silikon oksida dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	332
6.8	Jadual korelasi peratus aluminium oksida dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	333
6.9	Jadual korelasi peratus ferum oksida dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	333
6.10	Jadual korelasi peratus titanium oksida dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	334
6.11	Jadual korelasi kebolehpaya pertukaran kation dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia	334
6.12	Jadual korelasi kandungan relatif mineral lazim dengan kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	335
6.13	Jadual korelasi kandungan relatif mineral lazim dengan kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	335
6.14	Jadual korelasi kandungan relatif mineral lazim dengan kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	336
6.15	Jadual korelasi kandungan relatif mineral lazim dengan kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	336
6.16	Jadual korelasi kepekatan kation dengan kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	337
6.17	Jadual korelasi kepekatan kation dengan kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	337
6.18	Jadual korelasi kepekatan kation dengan kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	338
6.19	Jadual korelasi kepekatan kation dengan kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	338
6.20	Jadual korelasi struktur dan fabrik dengan kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	339
6.21	Jadual korelasi struktur dan fabrik dengan kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	339

6.22	Jadual korelasi struktur dan fabrik dengan kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	340
6.23	Jadual korelasi struktur dan fabrik dengan kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	340

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Kejadian tanah runtuh pada cerun tanah baki	6
2.1	Pengaruh iklim terhadap pembentukan tanah baki	76
2.2	Hubungan di antara nisbah lompong dengan hujan tahunan	77
2.3	Klasifikasi luluhawa	77
2.4	Taburan tanah baki granit di Semenanjung Malaysia	79
2.5	Tiub pensampel berdinding nipis	80
2.6	Kedudukan skema pensampel mazier	80
2.7	Kesan suhu pengeringan terhadap kandungan lembapan	81
2.8	Kesan pengeringan terhadap keplastikan tanah baki	81
2.9	Pembentukan tanah baki dan tanah liat	82
2.10	Profil luluhawa batuan granit di Lebuhraya Karak	83
2.11	Kesan agen penyerakan ke atas taburan saiz zarah di Afrika	86
2.12	Hubungan kandungan air dan keadaan tanah serta tegasan-terikan	89
2.13	Hubungan keplastikan dengan kedalaman	90
2.14	Carta keplastikan tanah baki granit	90
2.15	Pengaruh batuan asal terhadap pengukuhan tanah baki	93
2.16	Lengkung pengukuhan tanah baki granit berbanding dengan kedalaman yang berbeza	93
2.17	Gambarajah bulatan Mohr	100
2.18	Kaedah MIT	100
2.19	Kaedah Cambridge	101

2.20	Pembentukan mineral silika melalui proses luluhawa	102
2.21	Lapisan dwi-resap	102
2.22	Kepekatan kation mengikut teori dwi-lapisan	103
2.23	(a) Tetrahedra silika tunggal (b) Pandangan Isometrik bagi kepingan silika atau tetrahedra	103
2.24	(a) Oktahedra aluminium tunggal (b) Pandangan Isometrik kepingan oktahedra	104
2.25	Mikrograf bagi mineral kaolinit	104
2.26	Mikrograf bagi mineral haloisit	105
2.27	Mikrograf bagi mineral montmorilonit	105
2.28	Mikrograf bagi mineral ilit	105
2.29	Proses flokulasi dan deflokulasi	106
2.30	Gambarajah skematik bagi susunan asas zarah	107
2.31	Model-model struktur tanah	108
2.32	Gambarajah skematik bagi ciri-ciri tertib pertama dan kedua fabrik	109
2.33	Gambarajah skematik bagi liang makro dan liang mikro	109
2.34	Proses luluhawa granit bagi daerah Mae Sarieng	116
2.35	Korelasi antara kandungan lempung dan ciri-ciri indeks tanah	117
2.36	Korelasi antara kandungan lempung dengan had Atterberg serta kandungan lembapan semulajadi	118
2.37	Korelasi antara kandungan lempung dan indeks keplastikan. (b) Purata hubungan antara kandungan lempung dengan indeks keplastikan bagi pelbagai jenis batuan asal	119
2.38	Korelasi indeks mampatan dengan had cecair	120
2.39	Korelasi indeks mampatan dengan nisbah lompong asal	120
2.40	Korelasi antara indeks mampatan dan kandungan lembapan semulajadi	121
2.41	Korelasi antara indeks mampatan dan nisbah lompong asal	121
2.42	Korelasi kandungan lembapan dengan kebolehtelapan	122

2.43	Kejelekitan tak bersalir berbanding kedalaman	122
2.44	Sudut geseran dalaman berkesan melawan kandungan lempung	123
2.45	Sudut geseran berkesan melawan indeks keplastikan	123
3.1	Peralatan analisis ayakan	138
3.2	Hidrometer yang digunakan bagi penentuan saiz zarah tanah yang halus	138
3.3	Peralatan penentuan had cecair dan had plastik	139
3.4	Peralatan uji kaji graviti tentu (a) botol pikometer (b) vakum bagi mengeluarkan gelembung udara	139
3.5	Susunan peralatan oedometer	140
3.6	Keratan rentas oedometer	140
3.7	Gambarajah skematik peralatan GDS	141
3.8	Pengawal tekanan digital	141
3.9	Kedudukan skema pengawal digital	142
3.10	Sel tiga paksi	142
3.11	Kedudukan skema sel tiga paksi	143
3.12	Tekanan digital antara muka	143
3.13	Perisian yang digunakan dalam GDS	144
3.14	Peralatan mikroskop pengimbas elektron (SEM)	144
3.15	Peralatan penyalutan percitan	145
3.16	Kebuk sampel	145
3.17	Pentas sampel diletakkan	145
3.18	Prinsip kerja peralatan SEM	146
3.19	Peralatan pendaflor sinar-X (XRF)	146
3.20	Susun atur pendaflor sinar-X	147
3.21	Cara kerja hablur penganalisis bagi pendaflor sinar-X	147
3.22	Gambarajah skema sebuah diffraktometer dalam XRD	148
3.23	Tindakbalas sinar-X dengan sampel dalam XRD	148
3.24	Orientasi satah hablur dalam XRD	149
3.25	Peralatan pembelauan sinar-X	149
3.26	Sebahagian unit peralatan pembelauan sinar-X	149
3.27	Kedudukan sampel di dalam peralatan pembelauan	

	sinar-X	150
3.28	Peralatan spektrofotometer serapan atom (AAS)	150
3.29	Prinsip kerja peralatan AAS	151
3.30	Peralatan spektrofotometer DR4000	151
4.1	Metodologi kajian ciri-ciri fizikal tanah	179
4.2	Metodologi kajian ciri-ciri kimia, mineralogi dan mikrostruktur	180
4.3	Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Utara Semenanjung Malaysia	181
4.4	Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	182
4.5	Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	183
4.6	Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Timur Semenanjung Malaysia	184
4.7	Kotak khas untuk memindahkan sampel ke makmal	188
4.8	Pengukuran bagi penentukuran hidrometer	188
4.9	Penyemperit hidraulik mendatar	189
4.10	Ujian hidrometer	191
4.11	Peralatan yang digunakan untuk penyediaan sampel ujikaji	192
4.12	Kedudukan kertas penapis pada sampel	192
4.13	Susunan peralatan sistem GDS	193
4.14	Sel tiga paksi	193
4.15	Kedudukan sampel dan kertas penapis	194
4.16	Kedudukan spesimen	194
4.17	Carta alir penentuan komposisi kimia tanah baki	196
4.18	Peralatan meter pH	197
4.19	Langkah-langkah tipikal dalam pengujian kepekatan klorida	198
4.20	Carta alir penentuan mineralogi dan mikrostruktur tanah baki	199
4.21	Penyediaan sampel bagi ujikaji pendaflor sinar-X	200

5.1	Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan lempung	245
5.2	Kandungan lembapan semulajadi berbanding kedalaman	245
5.3	Perbandingan nilai graviti tentu	246
5.4	Hubungan graviti tentu dengan nisbah lompong asal	246
5.5	Hubungan graviti tentu dengan kandungan lempung	246
5.6	Kandungan zarah mengikut peratus	248
5.7	Taburan saiz zarah bagi semua lokasi	248
5.8	Taburan saiz zarah pada kedalaman 1-2 meter	248
5.9	Taburan saiz zarah pada kedalaman 3-4 meter	249
5.10	Taburan saiz zarah pada kedalaman 4-7 meter	249
5.11	Korelasi di antara had cecair dengan kandungan lempung	251
5.12	Korelasi di antara indeks keplastikan dengan Kandungan lempung	251
5.13	Carta keplastikan tanah sistem British	251
5.41	Korelasi di antara nisbah lompong asal dengan kandungan lembapan semulajadi	253
5.15	Korelasi di antara indeks mampatan dengan nisbah lompong asal	253
5.16	Korelasi di antara indeks mampatan dengan kandungan lempung	253
5.17	Korelasi di antara indeks mampatan dengan Kandungan lembapan semulajadi	254
5.18	Korelasi di antara indeks mampatan ternormal Dengan kandungan lembapan semulajadi	254
5.19	Korelasi di antara indeks mampatan dengan had cecair	254
5.20	Korelasi di antara pekali kebolehmampatan isipadu dengan nisbah lompong asal	255
5.21	Korelasi di antara pekali kebolehmampatan isipadu dengan tekanan prapenguksuhan	255

5.22	Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan kandungan lempung	256
5.23	Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan kandungan lembapan semulajadi	257
5.24	Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan indeks keplastikan	257
5.25	Garis keadaan genting bagi mendapatkan parameter Genting (M)	258
5.26	Garis keadaan genting bagi mendapatkan parameter Genting (λ dan Γ)	259
5.27	Korelasi nilai pH dengan kedalaman di bahagian Utara	291
5.28	Korelasi nilai pH dengan kedalaman di bahagian Tengah	291
5.29	Korelasi nilai pH dengan kedalaman di bahagian Selatan	292
5.30	Korelasi nilai pH dengan kedalaman di bahagian Timur	292
5.31	Korelasi % LOI dengan kedalaman di bahagian Utara	293
5.32	Korelasi % LOI dengan kedalaman di bahagian Tengah	293
5.33	Korelasi % LOI dengan kedalaman di bahagian Selatan	294
5.34	Korelasi % LOI dengan kedalaman di bahagian Timur	294
5.35	Korelasi kepekatan sulfat dengan kedalaman di bahagian Utara dan Tengah	295
5.36	Korelasi kepekatan sulfat dengan kedalaman di bahagian Selatan dan Timur	295
5.37	Korelasi kepekatan klorida di bahagian Utara dan Tengah	296
5.38	Korelasi kepekatan klorida di bahagian Selatan dan Timur	296
5.39	Korelasi % SiO ₂ dengan kedalaman di bahagian Utara	297
5.40	Korelasi % SiO ₂ dengan kedalaman di bahagian Tengah	297
5.41	Korelasi % SiO ₂ dengan kedalaman di bahagian Selatan	298
5.42	Korelasi % SiO ₂ dengan kedalaman di bahagian Timur	298
5.43	Korelasi % Al ₂ O ₃ dengan kedalaman di bahagian Utara	299
5.44	Korelasi % Al ₂ O ₃ dengan kedalaman di bahagian Tengah	299
5.45	Korelasi % Al ₂ O ₃ dengan kedalaman di bahagian Selatan	300
5.46	Korelasi % Al ₂ O ₃ dengan kedalaman di bahagian Timur	300
5.47	Korelasi % Fe ₂ O ₃ dengan kedalaman di bahagian Utara	301

5.48	Korelasi % Fe_2O_3 dengan kedalaman di bahagian Tengah	301
5.49	Korelasi % Fe_2O_3 dengan kedalaman di bahagian Selatan	302
5.50	Korelasi % Fe_2O_3 dengan kedalaman di bahagian Timur	302
5.51	Korelasi KPK dengan kedalaman di bahagian Utara	303
5.52	Korelasi KPK dengan kedalaman di bahagian Tengah	303
5.53	Korelasi KPK dengan kedalaman di bahagian Selatan	304
5.54	Korelasi KPK dengan kedalaman di bahagian Timur	304
5.55	Imej SEM bagi sampel PA1	305
5.56	Imej SEM bagi sampel PA2	305
5.57	Imej SEM bagi sampel AC1	305
5.58	Imej SEM bagi sampel AC2	305
5.59	Imej SEM bagi sampel PC1	305
5.60	Imej SEM bagi sampel PC2	305
5.61	Imej SEM bagi sampel NA1	306
5.62	Imej SEM bagi sampel NA2	306
5.63	Imej SEM bagi sampel NA3	306
5.64	Imej SEM bagi sampel KL1	306
5.65	Imej SEM bagi sampel GA1	307
5.66	Imej SEM bagi sampel GA2	307
5.67	Imej SEM bagi sampel BD1	307
5.68	Imej SEM bagi sampel BD2	307
5.69	Imej SEM bagi sampel AF1	308
5.70	Imej SEM bagi sampel AF2	308
5.71	Imej SEM bagi sampel KFI	308
5.72	Imej SEM bagi sampel KF2	308
5.73	Imej SEM bagi sampel JA2	308
5.74	Imej SEM bagi sampel JA3	308
5.75	Imej SEM bagi sampel DB2	309
5.76	Imej SEM bagi sampel DB3	309
5.77	Imej SEM bagi sampel DA2	309
5.78	Imej SEM bagi sampel DA3	309
5.79	Imej SEM bagi sampel TA1	309
5.80	Imej SEM bagi sampel TA2	309

5.81	Korelasi mikrostruktur dan mikrofabrik dengan kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	310
5.82	Korelasi mikrostruktur dan mikrofabrik dengan kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	311
5.83	Korelasi mikrostruktur dan mikrofabrik dengan kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	312
5.84	Korelasi mikrostruktur dan mikrofabrik dengan kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	313
5.85	Korelasi Silikon Oksida, SiO_2 dengan indeks keplastikan	314
5.86	Korelasi Aliminium Oksida, Al_2O_3 dengan indeks keplastikan	314
5.87	Korelasi Ferum Oksida, Fe_2O_3 dengan indeks keplastikan	315
5.88	Korelasi mineralogi dengan had keplastikan	315
5.89	Korelasi mineralogi dengan had cecair	316
5.90	Korelasi mineralogi dengan kandungan lembapan	316
5.91	Korelasi mineralogi dengan LOI	317
5.92	Korelasi mineralogi dengan KPK	317
5.93	Korelasi mineralogi dengan nilai pH	318
5.94	Korelasi nilai pH dengan kepekatan kation	318
5.95	Korelasi KPK dengan nilai pH	319
6.1	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Timur (Wakaf Tapai, Terengganu)	323
6.2	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Timur (Pulai Chondong, Kelantan)	324
6.3	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Utara (Bukit Mertajam, Pulau Pinang)	325
6.4	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Utara (Brinchang, Pahang)	326
6.5	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Selatan (Sedenak, Senai dan Mutiara Rini di Johor)	327
6.6	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Selatan (Tampin, Negeri Sembilan)	328

6.7	Katalog komposisi kimia di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	341
6.8	Katalog komposisi kimia dan mineralogi di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	342
6.9	Katalog mikrostruktur dan mikrofabrik di bahagian Utara Semenanjung Malaysia	343
6.10	Katalog komposisi kimia di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	344
6.11	Katalog komposisi kimia dan mineralogi di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	345
6.12	Katalog mikrostruktur dan mikrofabrik di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia	346
6.13	Katalog komposisi kimia di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	347
6.14	Katalog komposisi kimia dan mineralogi di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	348
6.15	Katalog mikrostruktur dan mikrofabrik di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia	349
6.16	Katalog komposisi kimia di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	350
6.17	Katalog komposisi kimia dan mineralogi di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	351
6.18	Katalog mikrostruktur dan mikrofabrik di bahagian Timur Semenanjung Malaysia	352

SENARAI SIMBOL

$^{\circ}\text{C}$	-	Darjah Celcius
A	-	Aktiviti
A	-	Luas keratan
AAS	-	Spektrofotometer Serapan Atom
Al_2O_3	-	Aluminium Oksida
Ba^{2+}	-	Ion Barium
c	-	Kejelekitan
c'	-	Kejelekitan berkesan
Ca^{2+}	-	Ion Kalsium
CaO	-	Kalsium Oksida
C_c	-	Indeks mampatan
CD	-	Terkukuh tersalir
CH	-	Lempung tak organik dengan keplastikan tinggi
Cl^-	-	Ion Klorida
CL	-	Lempung berkerikil, lempung berpasir, tempung berkelodak
CO_2	-	Karbon dioksida
C_s	-	Indeks pengembangan
CS	-	Lempung berpasir
CU	-	Terkukuh tak tersakir
c_v	-	Kadar pengukuhan
D	-	Diameter zarah (μm)
e	-	Nisbah lompong
EJ	-	Sejatan
e_o	-	Nisbah lompong asal
Fe^{2+}	-	Ion Ferum
Fe_2O_3	-	Ferum Oksida

g	-	Graviti (9.81 m/s^2)
GDS	-	Sistem Digital Geoteknik
G_s	-	Graviti tentu
H	-	Panjang dari leher bebuli ke senggatan R_h (dalam mm)
h	-	panjang bebuli
H^+	-	Ion Hidrogen
H_R	-	Kedalaman berkesan
I_L	-	Indeks kecairan
I_P	-	Indeks keplastikan
j_1	-	Pintasan pada paksi H_R
j_2	-	Kecerunan garis
k	-	Pekali kebolehtelapan
K^+	-	Ion Kalium
L	-	Panjang di antara senggatan 100 mL dan 1000mL silinder
LOI	-	Kehilangan Berat Semasa Pembakaran
m_1	-	Jisim hotel bersama penutup
m_4	-	Jisim botol bersama penutup dengan air suling pada suhu 25°C
meq/100 g	-	mili setara bagi 100 g bahan Unit kation-kation tanah, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ dan H^+ digambarkan sebagai boleh upaya satu kation untuk bertukar ganti dengan kation yang lain
mg/L	-	miligram per liter
Mg^{2+}	-	Ion Magnesium
MgO	-	Magnesium Oksida
MH	-	Kelodak tak organik, pasir halus, tanah berkelodak
ML	-	Kelodak tak organik, Pasir berkelodak, pasir berlempung, kelodak berlempung
MnO	-	Mangan Oksida
m_v	-	Pekali kebolehmampatan isipadu
N	-	Indeks iklim
N	-	Pantulan Schmidt
Na^+	-	Ion Natrium
Na_2O	-	Natrium Oksida

NH^{4+}	-	Ion Ammonium
O_2	-	Oksigen
OH^-	-	Ion Hidroksida
p	-	Tegasan normal purata berkesan, $1/3 * (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)$
p	-	Tegasan berkesan
P_2O_5	-	Fosfat Oksida
Pa	-	Hujan tahunan
ppm	-	bahagian per sejuta (parts per million)
		Unit yang biasa digunakan bagi unsur kepekatan kation dan anion
PW	-	Peratus penguraian
q	-	Tegasan sisih, (ci - 03)
q_o	-	Pintasan pada paksi q
R^2	-	Pekali penentuan
R_h	-	Bacaan hidrometer
RS	-	Tanah baki
s	-	Tegasan berkesan
SC	-	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
SEM	-	Mikroskop Pengimbas Ekktron
Si^{4+}	-	Ion Silikon
SiO_2	-	Silikon Oksida
SM	-	Pasir berkelodak, campuran pasir-kelodak
SO_4^{2-}	-	Ion Sulfat
SPT	-	Ujian penusukan piawai
t	-	Tegasan ricih
TiO_2	-	Titanium Oksida
UU	-	Tak terkukuh tak tersalir
UW	-	Batu tak terluluhawa
V_d	-	Isipadu botol (ml)
V_h	-	Isipadu bebuli hidrometer
w	-	kandungan air / kandungan lembapan semulajadi
w_L	-	Had cecair
w_p	-	Had plastik
XRD	-	Pembelauan Sinar-X

XRF	-	Pendarflor Sinar-X
γ_w	-	Berat unit air
η	-	Sudut garisan kegagalan
θ	-	Sudut kecerunan garisan kegagalan
σ	-	Tegasan
σ'_1	-	Tekanan paksi berkesan
σ'_3	-	Tekanan sel berkesan
σ_1	-	Tekanan paksi
σ_3	-	Tekanan sel
σ_n	-	Tegasan normal
ϕ	-	Sudut geseran
ϕ'	-	Sudut geseran berkesan
τ	-	Kekuatan ricih

BAB I

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Batuan granit boleh didapati di Malaysia terutama di sepanjang banjaran utama dari Utara hingga ke Selatan Semenanjung Malaysia. Mengikut Kepli (1994), Taha, *et al.* (1997) dan Khairul (2002), Malaysia yang beriklim Tropika iaitu mengalami panas dan lembap sepanjang tahun mempunyai suhu purata antara 22 °C sehingga 32 °C dan curahan hujan tahunan di antara 1778 mm hingga 3659 mm. Keadaan ini menyebabkan berlakunya kadar luluhawa yang sangat tinggi ke atas batuan granit. Hasilnya, tanah baki terbentuk pada bahagian permukaan batuan granit.

Masalah utama bagi tanah baki dikaitkan dengan curahan hujan yang tinggi serta kesan air terhadap tanah tersebut. Faktor ini telah mengakibatkan banyak kejadian yang tidak diingini berlaku di Malaysia terutamanya hakisan tanah serta kejadian tanah runtuh sama ada pada cerun semulajadi atau cerun kejuruteraan (buatan manusia). Kebanyakan kejadian tanah runtuh berlaku pada tanah baki semasa musim hujan lebat. Kejadian ini boleh mengancam nyawa manusia serta merosakkan harta benda. Rajah 1.1 menunjukkan beberapa kejadian tanah runtuh yang telah berlaku di Malaysia. Walaupun begitu, dengan pertambahan populasi serta diiringi dengan pembangunan ekonomi, projek-projek kejuruteraan awam telah meningkat dan banyak projek dijalankan di kawasan tanah baki yang didapati di kawasan tanah tinggi atau berbukit. Pembinaan penempatan awam, jalan raya, empangan dan pusat

rekreasi juga melibatkan kawasan berbukit. Selain itu, disebabkan tanah baki senang diperoleh dengan kos yang rendah, maka tanah baki kerap dipilih sebagai salah satu bahan binaan.

Kajian tentang tanah baki di Malaysia telah lama dijalankan. Di antara pengkaji terdahulu adalah Lee (1967), Chan & Chin (1972), Ting & Ooi (1976), Balasubramaniam, *et al.* (1985), Komoo (1985, 1989), Todo & Pauzi (1989), Tan & Ong (1993), Tan (1995), Taha, *et al.* (1997), Low, *et al.* (1997), Saravanan, *et al.* (1999), Ali (2000) dan Khairul (2002). Walaupun banyak kajian telah dijalankan mengenai ciri-ciri kejuruteraan tanah baki tetapi kajian yang melibatkan mineralogi, mikrostruktur, komposisi kimia dan korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan tanah baki granit masih kurang dijalankan terutamanya di Malaysia. Justeru itu, kajian ini melibatkan penentuan ciri-ciri kejuruteraan, komposisi kimia, mineralogi dan mikrostruktur tanah baki granit serta mewujudkan beberapa korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan tanah. Dengan adanya korelasi ciri-ciri kejuruteraan tersebut, pengkaji-pengkaji akan datang dapat merujuk dan membandingkan keputusan yang diperoleh. Di samping itu, korelasi tersebut juga memudahkan jurutera meramal sifat-sifat dan kelakuan kejuruteraan tanah berdasarkan ujikaji-ujikaji asas yang dijalankan tanpa melakukan ujikaji-ujikaji yang rumit dan mengambil masa yang agak lama untuk ditentukan.

Berbanding dengan tanah liat, ciri-ciri tanah baki granit lebih sukar untuk ditentukan disebabkan oleh kesukaran mendapatkan sampel tak terganggu yang berkualiti dan penyediaan sampel tak terganggu bagi menjalankan ujian kekuatan ricih, ujian kebolehmampatan dan ujian kebolehtelapan.

Penyediaan sampel tak terganggu bagi tanah baki agak sukar berbanding dengan tanah liat disebabkan sifat tanah baki yang mudah retak dan meleraikan. Ciri-ciri tanah baki berbeza walaupun sampel tanah diambil pada tapak yang sama. Ciri-ciri kejuruterannya boleh dihubungkan dengan komposisi mineralogi, struktur dan keadaan pembentukan tanah di tapak. Pembentukan tanah adalah dipengaruhi oleh bahan asal, iklim, topografi dan saliran. Apabila faktor pembentukan tanah adalah sama, tanah tersebut mempunyai ciri-ciri yang sama dan ini adalah benar bagi kawasan beriklim panas dan lembap di mana proses pembentukan tanah adalah

cepat. Pemahaman sifat-sifat tanah ini amat penting bagi jurutera geoteknik bagi membiasakan mereka dalam proses pembangunan tanah di kawasan Tropika. Ini kerana teknik-teknik yang digunakan di sesuatu tempat boleh digunakan pada lain-lain tempat yang mempunyai sifat-sifat tanah yang sama.

1.2 Objektif Kajian

Bagi mencapai matlamat sebenar projek iaitu mewujudkan korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Semenanjung Malaysia, beberapa objektif telah dibentuk seperti berikut:

- (i) menentukan ciri-ciri kejuruteraan, komposisi kimia tanah, mikrostruktur dan mineralogi tanah baki
- (ii) menyediakan katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan, komposisi kimia tanah, mikrostruktur dan mineralogi tanah baki Semenanjung Malaysia
- (iii) membuat korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan tanah baki bagi tujuan rekabentuk.

1.3 Skop Kajian

Bagi mencapai objektif yang telah ditetapkan, beberapa skop kajian telah dirangka. Tanah baki yang berasaskan batuan granit sahaja ditumpukan dalam kajian ini. Sampel-sampel tak terganggu tanah baki diambil di beberapa lokasi sekitar Semenanjung Malaysia menggunakan kaedah pensampel berdinding nipis dan kaedah Mazier. Ujikaji bagi ciri-ciri fizikal dan kimia tanah baki dijalankan di Makmal Geoteknik Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia, menggunakan peralatan sedia ada berpandukan BS 1377 (1990) dan Head (1986, 1988 dan 1992) dengan sedikit ubahsuai terutama dalam menentukan kandungan lembapan semulajadi tanah.

Dalam menentukan mikrostruktur dan mineralogi tanah baki granit kaedah Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM) dan Pembelauan Sinar-X (XRD) digunakan. Dalam pengujian komposisi kimia tanah pula, ujikaji yang dijalankan adalah melibatkan nilai pH, kepekatan anion iaitu kandungan sulfat dan klorida, kepekatan kation iaitu kandungan natrium, kalium, magnesium dan kalsium, serta Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK). Bagi pengujian kepekatan anion dan kation serta nilai KPK, ketiga-ketiga pengujian ini adalah menggunakan Spektrofotometer DR4000 Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

1.4 Kepentingan Kajian

Disebabkan penggunaan tanah baki di Malaysia dalam industri pembinaan amat meluas sekali dan masalah-masalah melibatkan tanah baki seperti tanah runtuh dan hakisan tanah adalah serius, terutamanya selepas hujan lebat, kajian dan pemahaman yang mendalam tentang ciri-ciri tanah baki di Malaysia harus dilakukan. Hanya dengan memahami ciri-ciri tanah baki, kelakuan struktur asas atau cerun boleh di ramalkan. Disamping itu data-data dan katalog ciri-ciri kejuruteraan serta korelasi-korelasi juga dihasilkan untuk dijadikan sebagai rujukan dan panduan kepada para jurutera dalam merekabentuk cerun, empangan, tambakan, bahan-bahan pembinaan jalan raya, lapangan terbang dan asas struktur binaan dengan lebih baik dan berkesan.

Seperti yang diketahui, penentuan ciri-ciri kekuatan ricih, kebolehmampatan dan kebolehtelapan di makmal memerlukan sampel tak terganggu untuk ujikaji. Bagi mendapatkan sampel tak terganggu yang benar-benar tak terganggu dan boleh dipercayai, kos yang agak tinggi diperlukan. Disebabkan kos yang agak tinggi dan masa untuk menjalankan ujikaji adalah agak lama, maka korelasi yang diwujudkan dapat meramalkan sifat-sifat tanah dengan hanya melakukan ujikaji-ujikaji asas seperti had Atterberg, taburan saiz zarah dan graviti tentu. Ujikaji-ujikaji ini hanya memerlukan sampel tak terganggu yang lebih mudah diperolehi dan keputusan ujikaji

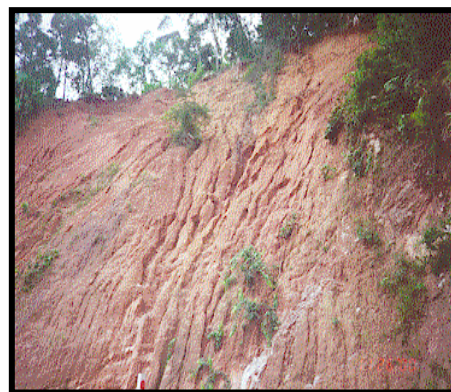
juga boleh diperoleh dengan cepat. Dengan menggunakan korelasi tersebut, kos dan masa untuk menjalankan ujikaji boleh dikurangkan.

1.5 Hasil yang Dijangkakan

Hasil yang diperoleh daripada kajian ini adalah katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki di Malaysia dan carta-carta korelasi antara ciri-ciri kejuruteraan tanah untuk kegunaan dalam kerja-kerja kejuruteraan geoteknik dan pembinaan. Carta-carta korelasi yang dihasilkan boleh digunakan bagi meramal ciri-ciri kejuruteraan dan kelakuan tanah baki di tapak. Carta-carta yang dibangunkan ini boleh dimuatkan dalam monograf sebagai rujukan atau panduan untuk rekabentuk pembinaan di Malaysia.



(a)



(b)



(c)



(d)

Rajah 1.1: Kejadian tanah runtuh pada cerun tanah baki (Roslan, 2001)

(a) Tapah-Tanah Rata di km 40

(b) Tapah-Tanah Rata di km 26

(c) Cerun Runtuh di Bukit Antarabangsa

(d) Cerun Runtuh di Paya Terubung

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Tanah baki adalah hasil luluhawa batuan induk seperti batuan igneus, sedimen dan metamorfik yang banyak didapati di kawasan Tropika dan biasanya berwarna merah disebabkan oleh kehadiran besi dan aluminium oksida (Brand, 1982, Fookes, 1986 dan Saravanan, *et al.*, 1999). Mengikut Lumb (1965), Lee (1967), Rahardjo, *et al.* (1995) dan Low, *et al.* (1997), tanah baki kebanyakannya adalah separa tepu dan didapati di kawasan berbukit atau tanah tinggi di mana paras air bumi adalah agak jauh. Terdapat beberapa jenis tanah baki dan ianya bergantung kepada kategori batuan induk. Jadual 2.1 menunjukkan jenis-jenis tanah baki serta struktur tanah. Jadual tersebut menunjukkan tanah baki granit berasal daripada batuan hablur berasid dan mempunyai struktur lempung berpasir atau pasir berlempung. Struktur tanah baki didapati dipengaruhi oleh jenis batuan asal yang menghasilkan tanah berkelodak, berlempung, berpasir, kerikil dan sebagainya.

Tanah baki terhasil daripada proses luluhawa fizikal dan kimia terhadap batuan dasar di mana struktur asal jisim batu musnah dan sifat-sifatnya berbeza mengikut kedalaman dari permukaan tanah. Proses ini telah membentuk profil luluhawa yang mengandungi bahan-bahan ‘bergred’ dari batuan segar kepada bahan terluluhawa lengkap yang dikatakan oleh jurutera geoteknik sebagai ‘tanah’. Bagi tujuan kejuruteraan, ianya sukar untuk mengasingkan ‘tanah’ daripada profil luluhawa sama ada bergred IV, V atau VI (Brand, 1985).

Definisi tanah baki adalah berbeza mengikut negara. Sinclair (1980) mendefinisikan tanah baki sebagai tanah yang terhasil daripada luluhawa batuan asal di tapak dan biasanya berlaku di kawasan iklim Tropika dengan suhu dan curahan hujan yang tinggi. McLean & Gribble (1984) mengatakan bahawa tanah baki adalah bahan batuan yang ditukarkan kepada tanah, struktur jisim dan bahan fabrik telah tiada dan terdapat perubahan yang besar dalam isi padu tetapi tanah tidak terangkut. Mengikut Blight (1997) pula, tanah baki adalah bahan yang berpunca daripada proses luluhawa di situ yang menguraikan komposisi batuan dan tidak terangkut daripada lokasi asal.

Namun begitu Lumb (1965), Brand (1982, 1985) dan Ali (2000) pula memberikan definisi yang berlainan. Mereka mengatakan bahawa tanah baki boleh dikategorikan bersama dengan koluvium bagi tujuan kejuruteraan. Ini kerana koluvium mempunyai sifat yang kebanyakannya sama dengan ciri-ciri umum tanah baki, terutamanya dalam konteks kelakuan kejuruteraan. Mengikut Brand (1985) dan Loganathan, *et al.* (1992), endapan koluvium sering wujud terutamanya di kaki cerun bukit yang berasal dari luluhawa batuan induk dan telah diangkut menuruni bukit oleh air dan tarikan graviti. Ianya boleh terdiri daripada komposisi batu tongkol kecil dan bahan halus. Disebabkan koluvium biasanya ditemui di kaki bukit bagi cerun curam yang menutup profil luluhawa batuan, ianya kadang-kadang sukar untuk dikenal pasti di antara koluvium dan bahan asal di situ, kecuali jika terdapat sampel pengorekan bagi tujuan ujian.

Townsend (1985) pula memberikan definisi yang berlainan. Beliau mengatakan tanah baki mempunyai ciri-ciri yang berbeza daripada tanah terangkut dan ujikaji yang dijalankan juga adalah berbeza. Sebagai contoh, ujikaji lazim bagi penentuan saiz zarah tidak dapat dipraktikkan bagi tanah baki. Tanah baki yang terhasil daripada luluhawa kimia mempunyai ciri-ciri yang dipengaruhi oleh keadaan iklim, bahan asal, topografi dan saliran serta usia (Townsend, 1985). Zarah tanah baki biasanya mengandungi agregat atau kristal zarah mineral terluluhawa di mana ianya akan retak dan menjadi halus jika tanah di gunakan. Zarah mungkin berubah dari pasir berkerikil ke pasir berkelodak semasa proses pengorekan, campuran dan pemadatan.

Oleh kerana batuan granit terluluhawa daripada batuan segar kepada tanah baki, ciri-ciri kejuruteraan adalah berbeza-beza dari segi ciri-ciri indeks dan fizikal tanah baki. Walau bagaimanapun, ciri-ciri kejuruteraan ini amat sukar untuk ditentukan terutamanya disebabkan oleh gangguan semasa pensampelan dan struktur tanah yang tak homogen. Faktor ini merupakan halangan utama kepada mereka yang ingin memahami sifat-sifat mekanikal tanah baki. Akibatnya, kajian mengenai sifat-sifat mekanikal tanah baki adalah terhad.

2.2 Pembentukan Tanah Baki

Satu fakta penting yang harus difahami sebagai prasyarat perbincangan seterusnya ialah bagaimana tanah baki terbentuk. Tanah baki adalah merujuk kepada tanah yang terluluhawa di suatu tempat dan kekal di situ. Mengikut Taha, *et al.* (1997), Semenanjung Malaysia menerima hujan tahunan di antara 1778 hingga 3556 mm dan suhu purata 25 °C sehingga 27 °C. Di sebabkan oleh curahan hujan dan suhu yang tinggi, luluhawa kimia merupakan mekanisma utama berbanding proses luluhawa yang lain, seperti luluhawa mekanikal. Pembentukan tanah baki adalah berbeza mengikut tempat, contohnya pembentukan tanah baki di Hong Kong adalah berbeza di mana ianya adalah gabungan di antara luluhawa kimia dan mekanikal.

Selain daripada tindakan luluhawa, beberapa faktor lain seperti iklim dan keadaan topografi juga mempengaruhi pembentukan tanah baki serta sifat-sifat kejuruteraannya yang akan diterangkan dalam para 2.2.2 dan 2.2.3.

2.2.1 Proses Luluhawa

Kebanyakan batuan terbentuk jauh dalam kerak bumi di mana suhu, tekanan dan persekitaran kimia berbeza dari keadaan di muka bumi. Apabila batuan ini terdedah atau tersingkap, tindak balas kimia dan fizikal akan bertindak ke atas batuan

tersebut untuk tujuan keseimbangan. Perubahan yang dialami oleh batuan berikutan dari pendedahan kepada persekitaran muka bumi dipanggil luluhawa. Ia melibatkan semua proses-proses fizikal dan kimia yang menukarkan batuan kepada tanah.

Penguraian batuan oleh proses luluhawa menghasilkan larutan mineral dan serpihan batuan yang berbagai saiz. Produk luluhawa ini boleh dimendapkan di lokasi di mana batu di luluhawa dinamakan sebagai tanah baki atau diangkut ke tempat lain oleh agen hakisan seperti sungai atau angin dikenali sebagai endapan. Luluhawa batuan boleh dibahagikan kepada dua jenis iaitu luluhawa fizikal dan kimia.

Luluhawa fizikal menguraikan batuan kepada serpihan berbagai saiz tanpa menukar komposisi mineralnya. Luluhawa ini terdiri daripada beberapa proses iaitu suhu yang tinggi di mana batuan mengembang dan mengecut dengan mendadak, binatang dan tumbuhan di mana pembesaran tumbuhan memecahkan batuan serta haiwan penggali lubang dan aktiviti manusia seperti pemecahan batuan.

Luluhawa kimia pula melibatkan penguraian batuan kepada serpihan atau butiran yang lebih kecil. Permukaan baru yang dihasilkan dari proses geseran dan retakan merupakan sasaran bagi agen-agen luluhawa kimia (O_2 , CO_2 dan air) yang aktif untuk bertindak. Tindak balas kimia melarutkan mineral batuan dan mengubah komposisi kimia mineral tersebut. Luluhawa kimia tidak begitu ketara jika dibandingkan dengan luluhawa fizikal tetapi dari segi kuantiti ia lebih menonjol.

Agen luluhawa kimia yang aktif termasuk air (hujan dan air bumi), karbon dioksida, oksigen dan asid organik. Kombinasi tindakan agen-agen ini akan bertindak pada semua mineral dalam batuan kecuali yang betul-betul tahan. Batuan ini diuraikan secara kimia oleh tindakan air ke atas mineral yang tidak stabil iaitu feldspar dan biotit dan menyebabkan penukaran kepada mineral lempung iaitu kaolinit, serisit dan mineral sekunder yang lain (Lumb, 1965). Dalam proses penguraian, plagioklase akan diuraikan terlebih dahulu dan diikuti oleh orthoklase dan biotit tetapi kuarza tidak mengalami perubahan (Lumb, 1965). Semasa penguraian, hasil perubahan seperti silika koloid, potash dan soda dilarutkan keluar

bersama-sama mineral lempung sekunder dan hasilnya menyebabkan keliangan tanah meningkat.

Zhao (1994) yang menjalankan kajian mengenai luluhawa di Bukit Timah Singapura menyatakan bahawa penguraian kimia adalah lebih efektif berbanding penguraian fizikal di kawasan iklim yang panas dan lembap. Justeru itu, luluhawa serta pembentukan tanah baki di Malaysia juga dipengaruhi oleh penguraian secara kimia berbanding penguraian secara fizikal disebabkan oleh iklim yang sama dengan Singapura.

2.2.2 Peranan Iklim

Iklim merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kadar luluhawa dan hasil luluhawa. Menurut Blight (1997), luluhawa fizikal lebih aktif di kawasan iklim kering sementara luluhawa kimia pula lebih aktif di kawasan yang beriklim panas dan lembap. Beliau juga menyatakan bahawa kadar tindak balas kimia adalah berganda bagi setiap kenaikan suhu sebanyak 10 °C. Weinert (1974) telah menerbitkan indeks iklim, N bagi luluhawa di selatan Afrika dengan persamaan:

$$N = \frac{12EJ}{Pa} \quad (2.1)$$

di mana,

EJ = sejatan purata maksimum sebulan dan

Pa = purata hujan tahunan

Jika nilai N kurang daripada 5, maka kedalaman tanah baki adalah tinggi, manakala jika nilai N adalah lebih besar daripada 5, maka kedalaman tanah baki adalah kecil. Khairul (2002) menyatakan bahawa Malaysia mengalami sejatan maksimum 180 mm sebulan dan purata hujan tahunan maksimum 3659 mm setahun. Oleh itu, nilai N bagi Malaysia adalah lebih kecil daripada 5. Ini menunjukkan tanah baki yang terbentuk di Malaysia adalah tinggi.

Menurut Uehara (1982), bagi kawasan yang mempunyai suhu dan curahan hujan yang tinggi, kaolin dan oksida akan terbentuk sebaliknya bagi kawasan yang kurang curahan hujan pula pembentukan lempung smectitic adalah lebih banyak.

Faktor cuaca adalah sangat penting dalam luluhawa kimia seterusnya dalam pembentukan tanah baki. Curahan hujan membekalkan lembapan bagi tindakan kimia sementara suhu pula mempengaruhi kadar tindakan tersebut. Rajah 2.1 menunjukkan kesan lembapan, suhu dan topografi yang mempengaruhi pembentukan tanah baki. Daripada rajah tersebut, boleh dilihat bahawa, kawasan hutan Tropika mengalami kadar luluhawa yang tinggi disebabkan suhu dan lembapan yang tinggi berbanding zon Taiga-Podzol yang mempunyai kelembapan tinggi tetapi suhu yang rendah. Di kawasan hutan Tropika, lapisan permukaan mengalami proses larut resap yang tinggi dan menghasilkan besi dan aluminium sesquioxida, tetapi larut lesap berkurang dengan kedalaman dan silika yang tertahan akan bergabung dengan alumina bagi membentuk kaolinit. Seterusnya montmorilonit terbentuk pada kedalaman yang tinggi. Oleh itu pembentukan tanah baki yang aktif kebanyakannya berlaku di kawasan iklim Tropika, dan Malaysia adalah salah satu negara yang terletak dalam zon ini. Ini menunjukkan pembentukan tanah baki di Malaysia adalah sangat aktif dengan kedalaman yang tinggi.

Mengikut Blight (1997), bagi tanah baki granit yang bersaliran baik, didapati tanah tersebut lebih berliang dan ini menyebabkan kebolehmampatan yang tinggi. Kajian oleh Brink & Kantey (1961) (dalam Blight (1997)) mendapati curahan hujan tahunan mempengaruhi nisbah lompong dalam tanah. Semakin tinggi curahan hujan, maka semakin tinggi nilai nisbah lompong seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.

2.2.3 Peranan Topografi

Kadar luluhawa yang lebih tinggi berbanding kadar hakisan menghasilkan pembentukan tanah baki yang dalam. Justeru itu profil tanah baki yang lebih dalam biasanya ditemui di kawasan lembah dan cerun yang agak mendatar berbanding tanah tinggi atau cerun curam (Blight, 1997). Ini kerana bagi keadaan cerun yang

curam kadar hakisan yang berlaku adalah lebih tinggi berbanding dengan kadar pembentukan tanah baki. Mengikut Blight (1997), kajian oleh Van der Merwe (1965) mendapati, curahan hujan yang tinggi serta saliran dalaman yang baik membantu pembentukan mineral kaolinit sementara mineral montmorilonit terbentuk pada cerun mendatar yang bersaliran tidak baik.

2.2.4 Batuan Induk

Selain daripada iklim, batuan asal juga mempengaruhi pembentukan tanah baki. Mengikut Townsend (1985) tanah baki merah terbentuk di permukaan batuan igneus asas seperti basalt dan diabes dan juga batuan berasid seperti granit, gneis dan filit. Walau bagaimanapun terdapat perbezaan di antara batuan asas dan berasid dari segi pembentukan tanah. Batuan asas mengalami pembentukan tanah yang lebih dalam berbanding batuan asid. Ini disebabkan oleh mineral batuan asas kurang ketahanan terhadap luluhawa berbanding batuan asid.

2.3 Pengelasan Tanah Baki

Istilah ‘tanah baki’, ‘tanah saprolitik’ dan ‘tanah laterit’ kadangkala digunakan bertukar-tukar dalam pengelasan hasil luluhawa. Walaupun penghasilan bahan ini adalah sama iaitu melalui proses luluhawa ke atas batuan asal, namun istilah ‘laterit’ yang digunakan sebelum ini menjadi tidak bererti kerana maksudnya yang sangat meluas. Mengikut Anon (1970) (dalam Pitts & Kannan (1986)), tanah laterit bukan sahaja dari Gred VI tetapi juga termasuk sebahagian daripada Gred V. Istilah laterit telah diperkenalkan oleh Buchanan dalam tahun 1807 yang mendefinisikan laterit sebagai lempung keras yang tak berstrata yang dijumpai di selatan India di atas batuan granit. Penggunaan istilah laterit telah disalah ertikan dengan menganggap semua tanah merah, tanah tropika, tanah terangkut atau terbentuk di situ sebagai laterit. Justeru itu, Moye (1955), Ruxton & Berry (1957) dan Little (1969) telah mengelaskan tanah melalui beberapa gred luluhawa dari gred

I sehingga gred VI. Ianya kemudian telah diterima oleh Persatuan Kejuruteraan Geologi Antarabangsa, IAEG (1981) dan Persatuan Mekanik Batuan Antarabangsa, IRSM (1981) sebagai klasifikasi luluhawa piawai. Kaedah yang lebih baik bagi penamaan tanah adalah dengan menggunakan istilah ‘tanah baki’ dengan menambahkan batuan induk kerana komposisi tanah baki adalah bergantung kepada batuan induk, contohnya tanah baki granit.

Menurut Wesley (1988), pengelasan tanah baki boleh ditentukan melalui tiga cara yang lazim iaitu kaedah berdasarkan profil luluhawa, kaedah berdasarkan pengelasan pedologi dan kaedah khas untuk kegunaan tempatan ke atas jenis tanah tertentu.

Beberapa ciri khas tanah baki tidak dijelaskan dalam kaedah yang lazim seperti sistem Pengelasan Tanah Bersepadu (Wesley & Irfan, 1997). Di antara ciri-cirinya adalah:

- (i) Mineralogi lempung luar biasa menjadikan ciri-ciri tanah baki tidak bersesuaian diletakkan dalam satu kumpulan mengikut sistem pengelasan yang lazim.
- (ii) Jirim tanah di tapak mungkin menunjukkan turutan bahan dalam lingkungan tanah kepada batuan lembut bergantung kepada peringkat luluhawa yang mana tidak diterangkan dengan mendalam oleh sistem yang lazim yang biasanya berdasarkan pengelasan tanah terangkut di kawasan beriklim sederhana.
- (iii) Sistem pengelasan biasa lebih memfokuskan kepada keadaan tanah yang di acu semula. Ini tidak benar untuk tanah baki yang lebih dipengaruhi oleh ciri-ciri struktur di tapak.

Penerangan luluhawa granit adalah sangat bermakna dalam tujuan kejuruteraan. Secara amnya, terdapat enam zon luluhawa yang berbeza iaitu tanah (gred VI), luluhawa lengkap (gred V), luluhawa tinggi (gred IV), luluhawa sederhana (gred III), luluhawa ringan (gred II) dan batuan asal (gred I). Rajah 2.3 menunjukkan contoh pengelasan luluhawa bagi batuan igneus yang dicadangkan oleh Little (1969) dan dirujuk bersesuaian dengan pengelasan tanah baki granit.

Penamaan tanah baki memerlukan beberapa penjelasan yang baik. Di dalam proses luluhawa, terdapat peralihan yang beransur-ansur dari batu kepada tanah dan sukar untuk menentukan titik perubahan batu kepada tanah. Dalam profil yang ditunjukkan dalam Rajah 2.3, tiga lapisan atas (gred VI, V dan IV) lebih cenderung bersifat sebagai tanah, sementara tiga lapisan ke bawah lebih cenderung bersifat sebagai batu. Namun begitu terdapat sedikit kekeliruan dalam menentukan gred tanah baki. Ada pengkaji yang mengatakan tanah baki adalah gred VI sahaja tetapi menurut Chang & Broms (1990), Tan (1995) dan Wesley & Irfan (1997), tanah baki dikelaskan sebagai batuan terluluhawa yang bersifat tanah yang bergred VI, V dan IV bagi tujuan kejuruteraan.

Irfan (1996) telah membuat satu perbandingan bagi pengelasan tanah baki igneus dari GCO (1988), Persatuan Geologi London (1990) dan Persatuan Geologi London (1995). Bagi GCO, tanah baki dinamakan sebagai RS dan bergred VI seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.2. Persatuan Geologi London pula mendefinisikan tanah baki adalah dari gred IV, V dan VI. Manakala Persatuan Geologi London (1995) menggabungkan gred V dan VI sebagai zon 6.

2.4 Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia

Lebih daripada 75% permukaan tanah di Semenanjung Malaysia adalah terdiri daripada tanah baki yang terhasil daripada luluhawa batuan granit, sedimen dan metasedimen. Selebihnya adalah aluvium atau tanah liat yang kebanyakannya ditemui di sepanjang sungai dan pantai (Taha, *et al.*, 1997). 50% daripada kawasan permukaan Semenanjung Malaysia dilitupi oleh batuan granit (Todo & Pauzi 1989). Batuan granit adalah batuan igneus berasid padat dan biasanya berwarna kelabu muda. Mineral utama dalam batuan granit ialah kuarza (30%), feldspar (60-65%) serta biotit dan hornblend (Zhao, 1994). Tanah baki di Semenanjung Malaysia biasanya adalah tanah baki tropika berwarna merah dari jenis tanah laterit sebenar dan sebahagian tanah laterit. Tanah laterit sebenar berkemungkinan tanah fosil yang terbentuk di bawah iklim yang berlainan pada awalnya (Fookes, 1986).

Seluruh Semenanjung Malaysia terletak pada garisan khatulistiwa dan 7 ° Utara garisan lintang (West & Dumbleton, 1970). Mengikut Kepli (1994), Taha, *et al.* (1997) dan Khairul (2002), Malaysia mengalami iklim Khatulistiwa dan mempunyai suhu purata 22 °C sehingga 32 °C. Suhu berada dalam lingkungan ± 5 °C daripada suhu purata bergantung kepada ketinggian mukabumi dan nisbah kelembapan antara 70 % hingga 90%. Suhu pada kawasan yang lebih tinggi adalah lebih rendah berbanding kawasan yang lebih rendah. Mereka juga menyatakan bahawa taburan hujan di Malaysia adalah diantara 1778 mm hingga 3659 mm. Jadual 2.3 menunjukkan nilai taburan hujan, suhu bulanan dan kelembapan relatif serta penyejatan bulanan yang diberikan oleh Khairul (2002).

Keadaan topografi dan iklim di Malaysia yang panas dan lembap sepanjang tahun menyumbang kepada pembentukan tanah baki yang dalam. Profil tanah yang dalam ini lazimnya di temui di beberapa bahagian semenanjung Malaysia terutamanya di lereng bukit yang agak mendatar kerana pembentukan tanah baki adalah lebih cepat berbanding kadar hakisan tanah. Kawasan Semenanjung Malaysia dibahagikan oleh satu banjaran tengah yang bermula dari Melaka sehingga ke Perak yang bersempadan dengan negara Thailand. Kebanyakan gunung ini terbentuk daripada batuan granit. Setelah batuan mengalami proses luluhawa akibat daripada cuaca yang panas dan lembap, tanah baki terbentuk dengan kedalaman tertentu bergantung kepada topografi. Taburan tanah baki granit di Semenanjung Malaysia boleh dilihat seperti dalam Rajah 2.4.

Kajian tentang tanah baki granit di Malaysia telah dijalankan oleh beberapa pengkaji seperti Lee (1967), West and Dumbleton (1970), Chan & Chin (1972) dan Ting & Ooi (1972), Balasubramaniam, *et al.* (1985), Komoo (1989), Tan & Ong (1993), Tan (1995) dan Khairul (2002).

2.5 Pensampelan Tanah Baki

2.5.1 Sampel Tak Terganggu

Sampel diambil bagi mengenali jenis tanah atau semasa penyiasatan tanah di tapak. Ianya diperlukan bagi ujian di makmal bagi mendapatkan ciri-ciri dan kelakuan tanah tersebut. Sampel dianggap terganggu apabila struktur asal tanah telah musnah semasa pensampelan. Sampel yang sempurna diperoleh di dalam tiub melalui pengorekan berputar, pemotongan dengan tangan dari lubang ujian serta pengorekan.

Pada hakikatnya tiada sampel yang benar-benar tak terganggu kerana perubahan tegasan dan gangguan mekanikal semasa penyediaan sampel tidak dapat dielakkan. Gangguan tersebut akan mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan yang diperoleh daripada sampel.

Tujuan sebenar pensampelan haruslah difahami dengan jelas apabila kerja-kerja lapangan dijalankan. Perhatian harus diberikan bagi mengelakkan sampel daripada terganggu seboleh mungkin. Sampel tak terganggu yang tidak baik tidak banyak bezanya dengan sampel tanah yang terganggu sepenuhnya. Sampel tak terganggu digunakan bagi menentukan ciri-ciri kebolehmampatan, kebolehtelapan dan kekuatan ricih tanah.

Spesifikasi tiub pensampelan adalah bergantung kepada amalan antarabangsa yang telah dibangunkan melalui pengalaman bagi mendapatkan sampel yang berkualiti tinggi. Pensampelan tanah baki adalah lebih sukar berbanding pensampelan bagi tanah liat lembut. Masalah yang berkaitan dengan pensampelan tanah baki adalah ianya agak keras untuk menggunakan pensampel berdinding nipis dan mudah terhakis apabila menggunakan teknik pengorekan berputar (Nicholas, 1990).

Penggunaan buih semasa penggerudian menggantikan air memastikan sampel yang diperoleh berkeadaan semulajadi tanpa meningkatkan kandungan lembapan pada permukaan sampel. Kaedah ini amat berkesan bagi sampel untuk ujikaji di

makmal. Terdapat satu lagi kaedah iaitu menggunakan bentonit yang dicampurkan dengan air dan digunakan sebagai cecair semasa penggerudian. Biasanya penampal dinding akan ditambah bagi mendapatkan cecair penggerudian yang tebal dan berat.

2.5.2 Kaedah Pensampelan Tanah Baki

Di antara jenis tanah yang sukar bagi pensampelan adalah tanah baki dan koluvium. Walaupun kaedah pensampelan banyak dibincangkan tetapi kaedah pensampelan bagi tanah baki mula ditekankan pada 1979 dan dibentangkan semasa simposium di Singapura (ISSMFE, 1979). Pada tahun 1985, kesatuan antarabangsa bagi kejuruteraan mekanik tanah dan asas telah membuat ulasan mengenai amalan antarabangsa dalam kaedah pensampelan dan pengujian tanah baki.

Tanah baki biasanya sangat heterogen, tak homogen dan tak isotropi dan pensampelan menjadi sukar (Brand, 1985). Sampel yang besar dapat memastikan penggredan, struktur dan fabrik kekal dan dapat mewakili keadaan sebenar di tapak. Butiran kasar bagi sesetengah tanah baki mengakibatkan sampel yang kecil sukar untuk diperolehi bagi ujian makmal.

Tanah baki juga biasanya mempunyai ikatan yang lemah dan bersifat sebagai tanah jelekut semasa pensampelan, jadi kaedah pensampelan seperti tanah liat adalah lebih sesuai. Walaupun begitu terdapat perbezaan yang penting di antara pensampelan bagi tanah liat tepu dan tanah baki (Fookes, 1997).

Menurut Todo & Pauzi (1989), kaedah pensampelan yang biasanya diamalkan di Malaysia bagi tanah baki adalah tiub pensampel pemacu terbuka atau berdinding nipis. Penggunaan pensampel Denison atau Mazier adalah terhad disebabkan oleh kos yang tinggi serta proses kerja yang rumit. Mengikut Todo, *et al.* (1990), penggunaan pensampel pemacu terbuka hanya dihadkan kepada nilai N yang lebih kecil dari 20 dalam ujian penusukan piawai (SPT).

Menurut Nicholas (1990) dan Fookes (1997), pada kedalaman yang cetek kaedah biasa iaitu penggunaan tiub pensampel berdinding nipis dan pengorekan berputar boleh digunakan dan sampel tak terganggu boleh dipercayai dan digunakan bagi ujikaji makmal. Rajah 2.5 menunjukkan jenis pensampel berdinding nipis dengan dimensa yang ditunjukkan secara terperinci. Kedah ini adalah lebih ekonomi dan sampel tanah senang diperoleh terutamanya pada kedalaman yang cetek.

Bagi menggunakan peralatan ini, beberapa langkah disenaraikan di bawah dengan turutan yang disyorkan oleh Blight dan Simmons (1997):

- (i) Tiub hendaklah berada dalam keadaan yang bersih.
- (ii) Pemotong di bahagian hujung hendaklah berada dalam keadaan baik, dan nisbah kawasan diukur dan dicatat.
- (iii) Sampel diserap ke dalam tiub dengan menusuk secara hidraulik. Penusukan secara mengetuk tidak dibenarkan.
- (iv) Julat kedalaman sampel sebenar dan sampel yang selamat, direkodkan.
- (v) Tiub pensampelan kemudiannya diikat, dililin dan ditutup dengan tiub getah dengan ketat dengan segera.
- (vi) Kemudian, sampel disimpan dengan keadaan paksi mendatar dengan suhu persekitaran yang lembap.
- (vii) Dibawa dengan pengangkutan secara perlahan, dibungkus dalam bahan serap-hentak seperti hamparan gabus dan dijaga seperti barang yang mudah pecah.
- (viii) Setiap tiub dilabelkan bagi menunjukkan nombor lubang jara dan tarikh sampel diambil, kedalaman setiap sampel, panjang sampel dan lokasi sampel diambil.

Sebagai bahan yang semakin keras dengan kedalaman akibat kurang terluluhawa, penggunaan tiub pensampelan berdinding nipis adalah tidak praktis bagi tanah baki. Tiub pensampelan berdinding nipis tidak dapat menanggung tegasan semasa penusukan. Bagi perolehan sampel tak terganggu pada kedalaman yang tinggi dan tanah baki yang keras, kaedah pensampelan Mazier sesuai digunakan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Tiub pemotong yang disambungkan

dengan tiub pensampel akan memotong tanah terlebih dahulu sebelum pemotong berputar memotong tanah disekitar tiub pemotong. Ini secara langsung dapat mengelakkan bahan pancuran (air) memasuki sampel yang mengakibatkan pertambahan kandungan lembapan di dalam sampel tanah. Namun begitu, menurut Chin (1990), daya tujah yang tinggi menjadikan pemotongan tanah lebih berkesan kerana masa dedahan sampel tanah dengan bahan pancuran dapat dikurang bagi mengelakkan sampel tanah daripada terhakis. Kadar aliran bahan pancuran juga dilaraskan supaya tidak terlalu tinggi bagi mengelakkan hakisan tanah. Ianya dilaraskan supaya air mengalir keluar dengan perlahan dari lubang jara. Namun begitu, aliran air yang sangat perlahan pula menyebabkan baki tanah yang dikorek sukar untuk dikeluarkan.

2.6 Pengujian Tanah Baki

Sebagaimana proses pembentukan tanah baki, sifat-sifat kejuruteraan tanah baki tidak sama dengan tanah jenis lain. Prosedur ujikaji yang lazim dijalankan untuk tanah di kawasan beriklim sederhana yang dihasilkan oleh Piawaian British dan Amerika tidak boleh digunakan tanpa membuat sebarang pengubahsuaian terhadap prosedur ujikaji. Jika menggunakan ujikaji yang lazim ini, perhubungan dan hubungkait mungkin sukar untuk dibangunkan. Oleh itu, prosedur lazim telah diubahsuai seperti yang dicadangkan dalam Irfan (1996) dan Fookes (1997) bagi tanah baki Tropika.

2.6.1 Penyediaan Sampel Tak Terganggu

Perhatian harus diberikan dalam penyediaan sampel tak terganggu. Ini kerana dengan sifatnya yang sensitif terhadap pengeringan dan mudah pecah, keupayaan untuk terganggu adalah tinggi. Pengeringan tanah baki mungkin mengubah struktur dan sifat-sifat fizikal tanah baki. Kebanyakan perubahan ini adalah perubahan kimia dan tidak boleh di kembalikan kepada keadaan asal walaupun tanah tersebut

dicampurkan semula dengan air. Perubahan ini amat ketara terutamanya untuk ciri-ciri indeks seperti ujian keplastikan dan taburan zarah. Ciri-ciri kejuruteraan seperti pemadatan, kebolehmampatan dan kekuatan ricih juga boleh terjejas dalam proses penyediaan sampel. Perubahan ciri-ciri ini disebabkan oleh (Fookes, 1997):

- (i) perubahan mineral lempung
- (ii) Pengumpulan zarah-zarah halus untuk membentuk zarah yang lebih besar

2.6.2 Kandungan Lembapan

Seperti yang diketahui umum, pengeringan oven mahupun pengeringan udara akan mengubah ciri-ciri tanah walaupun perubahan adalah terlalu kecil bagi tanah terangkut. Disebabkan oleh pembentukannya, tanah baki lebih cenderung mengubah ciri-cirinya disebabkan oleh pengeringan dan pendedahan kepada udara. Pengeringan akan menyebabkan pengeringan separa atau lengkap mineral lempung seterusnya mengubah ciri-cirinya. Disebabkan oleh kesan pengeringan ini, komposisi tanah, ciri-ciri kebolehmampatan dan kekuatan ricih akan mengalami perubahan.

Kaedah biasa penentuan kandungan lembapan adalah berdasarkan kehilangan air apabila tanah dikeringkan sehingga mencapai jisim yang tetap pada suhu di antara 105 °C hingga 110 °C. Bagi kebanyakan tanah baki, lembapan wujud dalam bentuk penghabluran air. Rajah 2.7 menunjukkan kandungan air meningkat beransur-ansur dengan suhu pengeringan. Menurut Terzaghi (1958), perubahan ini lebih ketara bagi tanah yang mengandungi haloisit atau alofan.

Fourie (1997) dan Fookes (1997) mencadangkan kaedah menentukan kandungan lembapan iaitu dengan menyediakan dua spesimen. Satu untuk pengeringan oven pada suhu 105 °C dan satu lagi untuk pengeringan udara atau pengeringan oven pada suhu yang tidak melebihi 50 °C. Dua keputusan kandungan lembapan yang diperoleh akan dibandingkan. Jika perbezaan yang diperoleh adalah lebih besar daripada 4%, maka penentuan kandungan lembapan hendaklah dijalankan pada suhu pengeringan 50 °C atau lebih rendah. Perbezaan ini menunjukkan struktur

air membentuk sebahagian daripada pepejal tanah dan perlu dimasukkan dalam pengiraan mendapatkan kandungan lembapan.

2.6.3 Had Atterberg

Sama seperti masalah penentuan kandungan lembapan, penentuan had Atterberg juga menghadapi masalah yang sama. Mengikut Moh & Mazhar (1969) apabila air ditambahkan pada tanah ianya cenderung menghancurkan zarah kepada saiz yang lebih kecil dan ini akan meningkatkan keluasan permukaan. Peningkatan luas permukaan tanah ini menyebabkan berlakunya penyerapan air yang tinggi yang mengubah nilai had. Rajah 2.8 menunjukkan kesan pengeringan terhadap nilai had cecair dan indeks keplastikan. Jika tanah yang digunakan untuk penentuan had Atterberg dikeringkan terlebih dahulu, maka nilainya menjadi lebih kecil berbanding nilai had Atterberg yang dijalankan pada keadaan semulajadi. Mengikut Townsend (1985), kesan pengeringan sebelum ujikaji mungkin menyebabkan pertambahan perekatan disebabkan oleh pengoksidaan besi dan aluminium serta penyahhidratan haloisit dan alofan.

2.6.4 Graviti Tentu Tanah

Graviti tentu digunakan dalam pengiraan bagi mendapatkan parameter pecahan lempung, nisbah lompong dan keliangan. Jika graviti tentu tidak ditentukan dengan sebaiknya atau andaian yang salah di buat, ianya akan menyebabkan kesilapan dalam menentukan nisbah lompong atau keliangan. Kesukaran mengeluarkan udara daripada sampel juga adalah salah satu faktor menyebabkan kesilapan dalam penentuan graviti tentu (BSI, 1990). Mengikut Fourie (1997), tanah baki mempunyai nilai graviti tentu yang berubah-ubah, ada kalanya tinggi dan kadangkala rendah.

Pengeringan tanah yang diuji bagi menentukan graviti tentu seharusnya dielakkan. Namun begitu, sampel tanah juga boleh dikering oven pada suhu yang kurang daripada 50 °C seperti yang dicadangkan oleh Fourie (1997) dan Fookes (1997).

2.6.5 Taburan Saiz Zarah

Mengikut Fourie (1997), taburan saiz zarah bagi tanah baki mungkin dipengaruhi oleh beberapa aspek semasa penyediaan sampel iaitu :

- (i) Kesan pengeringan: Kebanyakan laporan menjelaskan bahawa kesan pengeringan menyebabkan pengurangan kandungan lempung. Oleh itu pengeringan sebelum ujian dijalankan perlu dielakkan. Sampel perlu dibahagikan kepada dua bahagian, satu untuk penentuan kandungan lembapan bagi mendapatkan jisim kering dan pecahan yang lain untuk ujian taburan saiz zarah. Sampel itu kemudiannya akan direndam di dalam larutan penyerakan seperti alkali cair Sodium hexametaphosphate dan seterusnya dibasuh melalui saiz ayak piawai.
- (ii) Prarawatan kimia: Penggunaan bahan kimia adalah perlu dielakkan. Prarawatan menggunakan hidrogen peroksida hanya diperlukan apabila terdapat kehadiran bahan organik.

2.6.6 Kekuatan Ricih dan Pengukuhan

Dalam menentukan kekuatan ricih tanah, kualiti sampel adalah sangat penting. Sebarang gangguan terhadap sampel boleh mengubah struktur tanah. Perhatian harus diberikan bagi mengelakkan gangguan semasa pengambilan, pemindahan ke makmal, penyemperitan dan penyediaan sampel untuk ujikaji. Menurut Fookes (1997), gangguan ke atas sampel tanah batu lumpur memberikan

nilai kekuatan ricih yang rendah, manakala gangguan tanah baki granit menjadikan nilai sudut geseran berkesan (ϕ') bertambah.

2.7 Penggunaan Tanah Baki Granit

Tanah baki digunakan dengan meluas sebagai bahan pembinaan seperti jalan raya, lapangan terbang, empangan, asas bangunan, tambakan, cerun dan sebagainya. Tanah baki jenis granit kadangkala bermasalah terutamanya dalam reka bentuk asas bagi struktur yang agak berat dan pembinaan jalan raya. Penggunaan asas tapak dalam tanah baki granit biasanya sesuai digunakan bagi bangunan mencapai ketinggian 3 atau 4 tingkat. Bagi struktur yang berat biasanya cerucuk digunakan tetapi pertimbangan harus diberikan terhadap kehadiran ketulan batu (Chan & Chin, 1972). Walau bagaimanapun menurut beliau cerucuk tidak semestinya ditanam sehingga dasar batuan. Tanah baki granit mempunyai keupayaan galas yang tinggi dan boleh dicapai pada kedalaman sederhana tanpa menemui lapisan batu dasar.

2.7.1 Asas

Penggunaan asas sama ada asas cetek atau asas dalam bagi tanah baki harus di beri perhatian. Masalah utama adalah kehadiran batu tongkol yang kadang kala besaiz agak besar. Kesilapan penentuan batuan dasar boleh berlaku semasa aktiviti pengorekan dan mengenai batuan tongkol. Menurut Srekantiah (1977), penggunaan asas cetek bagi tanah baki adalah agak sesuai bagi bangunan sepuluh tingkat. Menurut Chan & Chin (1972) pula, penggunaan asas cetek bagi tanah baki granit sesuai untuk bangunan tiga atau empat tingkat sahaja. Walau bagaimanapun, bagi bangunan yang lebih tinggi, penggunaan cerucuk sehingga ke lapisan batuan adalah lebih baik. Gidigasu (1976) menyatakan bahawa penggunaan asas jalur dalam tanah baki berupaya menanggung tegasan $192-384 \text{ kN/m}^2$ tanpa berlaku ricihan dan enapan.

2.7.2 Pembentukan Cerun

Kejadian tanah runtuh adalah fenomena yang biasa berlaku pada tanah baki terutama semasa musim hujan. Mengikut Gidigasu (1976), permukaan tanah yang separa tepu menjadi tepu dan menyebabkan tegangan air liang berkurang, kekuatan tanah berkurang dan seterusnya berlaku gelinciran. Mengikut Gidigasu (1976), Bulman (1968) telah menjalankan kajian terhadap 400 cerun yang stabil dan gagal. 56 daripada kajian itu adalah ke atas tanah baki daripada batuan igneus. Hasil kajiannya beliau mencadangkan pembinaan cerun bagi tanah baki harus mempunyai kecerunan di antara 40° - 45° .

Terdapat berbagai percubaan untuk menstabilkan cerun bagi mengelakkan kegelinciran dan hakisan. Penggunaan rumput pada cerun, semburan kapur, simen dan bitumen juga dapat menstabilkan cerun terutama apabila dilakukan pada cerun tanah granit (Bulman, 1968 (dalam Gidigasu, 1976)).

2.7.3 Benteng dan Empangan Tanah

Penggunaan tanah baki di dalam pembinaan benteng dan empangan tanah telah lama dipraktikkan di Malaysia. Ciri-ciri pemadatan, tahap luluhawa dan mineral lempung mempengaruhi kesesuaian untuk digunakan sebagai bahan binaan. Salah satu masalah yang melibatkan tanah baki semasa proses pemadatan ialah kandungan lembapan semulajadi yang berbagai-bagai. Vargas, *et al.* (1965) (dalam Gidigasu (1976) mengatakan bahawa, pemadatan yang melebihi 95% dalam kaedah pemadatan piawai Proctor dan dengan menggunakan kandungan lembapan berjulat $\pm 2\%$ di bawah kandungan lembapan optimum memberikan keputusan pemadatan yang terbaik.

2.8 Sifat-sifat Fizikal Tanah Baki

Terdapat banyak ciri-ciri geoteknik yang membabitkan tanah baki dan jurutera harus memikirkan dan membuat pertimbangan secara terperinci semasa reka bentuk struktur bagi memastikan keselamatan dan kekukuhan sesuatu struktur binaan. Pengetahuan tentang sifat-sifat tanah adalah sangat penting terutama dalam kejuruteraan geoteknik dan pembinaan. Pemahaman tentang sifat-sifat tanah di sesuatu kawasan pembinaan, membolehkan reka bentuk struktur geoteknik lebih mudah, selamat dan ekonomi.

Seperti yang diketahui, sifat-sifat tanah baki adalah berbeza berbanding tanah endapan disebabkan oleh proses pembentukan dan endapan tanah yang berbeza. Namun begitu, sifat-sifat tanah baki juga berbeza walaupun tanah tersebut terhasil daripada batuan asal dan iklim yang sama. Townsend (1985) menyatakan bahawa tanah baki adalah hasil daripada luluhawa kimia, justeru itu ciri-ciri kejuruteraan tanah baki bergantung kepada faktor iklim, bahan asal, topografi dan aliran serta usia. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan tanah baki.

Mengikut Brand (1985) dan Fookes (1997), tanah baki biasanya wujud dalam keadaan separa tepu yang mengandungi udara dan air dalam liang tanah kerana ianya terletak jauh daripada paras air bumi yang menyebabkan kesukaran dalam penentuan kekuatan ricih. Tekanan air biasanya kurang daripada tekanan udara disebabkan oleh kehadiran meniskus rerambut di antara dua cecair.

2.8.1 Ciri-ciri Asas

Rajah 2.9 menunjukkan perbezaan asas dalam pembentukan tanah baki berbanding tanah endapan, contohnya tanah liat. Dalam istilah ciri-ciri asas, ciri-ciri tanah baki yang terhasil daripada luluhawa batuan di tapak, bergantung kepada kekuatan ikatan atau kompenan struktur dalaman batuan terluluhawa. Sejarah tegasan tidak mempengaruhi sifat-sifat tanah baki berbanding tanah liat yang bergantung kepada tegasan beban yang bertindak memampatkan zarah. Tambahan

pula tahap luluhawa juga menghasilkan tanah yang amat berbeza dari segi taburan saiz zarah dan keseragaman had. Taha, *et al.* (2000) menyatakan bahawa sifat-sifat tanah baki bergantung kepada dua faktor iaitu komposisi batuan dan luluhawa. Komposisi batuan bergantung kepada batuan asal dan luluhawa lebih merujuk kepada luluhawa kimia.

2.8.2 Kedalaman

Sebagaimana pembentukan tanah baki, kedalaman tanah baki dipengaruhi oleh faktor-faktor luluhawa. Di antara faktor yang mempengaruhi luluhawa serta kedalaman tanah baki adalah juzuk mineral dalam batuan, tahap rekahan dan air penelusan. Ketebalan tanah baki boleh ditentukan dengan berkesan menggunakan kaedah pengukuran pembiasan seismik selain daripada kaedah tradisional, iaitu penggerudian dan ujian penusukan piawai (SPT). Berdasarkan nilai yang diperolehi, kedalaman tanah baki boleh dianggarkan. Komoo & Lim (1985) telah mengkorelasi luluhawa berdasarkan nilai N (indeks penusukan) dalam ujian SPT. Berdasarkan kajian mereka, kedalaman tanah baki ditunjukkan oleh nilai N di antara 0-12 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.4. Sementara Pichit, *et al.* (1990) yang menjalankan kajian tanah baki batuan pasir di Thailand mendapati nilai N bagi tanah baki adalah di antara 5 – 30 dan biasanya bertambah dengan kedalaman. Perbezaan ini adalah disebabkan lokasi dan jenis batuan yang berbeza yang menghasilkan sifat-sifat tanah baki yang berlainan antara satu sama lain.

Menurut Chang (1988) dan Tan (1995), kedalaman tanah baki adalah berbeza-beza mengikut tempat. Zhao (1994) yang menjalankan kajian di Bukit Timah Singapura melaporkan bahawa kedalaman tanah baki adalah dari beberapa meter hingga mencapai kedalaman 70m. Kebanyakan tempat mempunyai kedalaman antara 20 m -50 m. Kajian oleh Chan & Chin (1972) mendapati kedalaman tanah baki granit adalah lebih tinggi berbanding tanah baki batu pasir.

Mengikut West & Dumbleton (1970), Komoo (1985) dan Zhao (1994), ketebalan tanah baki di kawasan mendatar lebih tinggi berbanding kawasan puncak

bukit atau cerun curam. Ini adalah disebabkan oleh keadaan di mana kawasan puncak bukit akan mengalami hakisan yang teruk berbanding dengan kawasan agak mendatar. Komoo (1985) yang membuat kajian di sepanjang lebuhraya Karak, Selangor merumuskan ketebalan lapisan tanah baki adalah di antara 10 hingga 20 m. Satu contoh profil kedalaman tanah baki granit ditunjukkan dalam Rajah 2.10 bagi tanah baki di lebuhraya Karak yang dikaji oleh Tan & Komoo (1990).

Jadual 2.5 merumuskan kedalaman tanah baki dari pengkaji lepas. Kedalaman tipikal bagi tanah baki di Malaysia adalah berjulat di antara 8 m sehingga mencapai 50 m. Kajian tanah di Singapura pula mencapai sehingga 45 m sementara di Hong Kong sehingga 40 m. Namun begitu kedalaman tanah baki adalah berbeza-beza mengikut tempat kerana kedalaman tanah baki dipengaruhi oleh tahap luluhawa di sesuatu kawasan. Manakala kadar luluhawa pula di pengaruhi oleh suhu, taburan hujan, topografi dan sebagainya. Namun, kedalaman minimum di Malaysia adalah 5 m daripada permukaan tanah seperti yang diperolehi oleh Komoo (1985).

2.8.3 Kandungan Lembapan

Mengikut Lumb (1962) dan Pichit (1990), kandungan lembapan semulajadi tanah baki adalah berubah-ubah sepanjang tahun bergantung kepada taburan hujan, air larian permukaan dan penyejatpeluhan. Oleh itu, keadaan ketika pengambilan sampel tanah mempengaruhi keputusan kandungan lembapan semulajadi. Namun begitu, Lee (1967), Todo & Pauzi (1989), Fookes (1990) dan Zhao (1994) menyatakan bahawa kandungan lembapan semulajadi dalam tanah baki berkurang dengan pertambahan kedalaman.

Jadual 2.5 menunjukkan kandungan lembapan semulajadi yang diperolehi dari penyelidikan terdahulu. Di dapati secara purata, kandungan lembapan semulajadi bagi tanah baki granit di Malaysia adalah berada dalam julat 5% - 50%. Namun begitu kajian oleh Komoo (1985) mendapati kandungan lembapan semulajadi mencapai 99%. Kajian di Singapura dan Thailand pula menunjukkan kandungan lembapan

semulajadi berjulat antara 5% - 58% iaitu lebih kurang sama dengan julat kandungan lembapan bagi tanah baki Malaysia.

2.8.4 Graviti Tentu

Graviti tentu adalah nisbah jisim tanah berbanding jisim air pada suhu 20 °C. Penentuan graviti tentu tanah merupakan parameter yang berguna bagi pengiraan nisbah lompang, keliangan atau darjah ketepuan sesuatu tanah. Di samping itu ia juga penting dalam pengiraan pemadatan, pengukuhan, kebolehtelapan, ujian had pengecutan dan taburan saiz zarah menggunakan kaedah pengenapan. Tan & Ong (1993) menyatakan bahawa graviti tentu tanah baki ditentukan melalui pecahan pasir yang juga merupakan komponen utama dalam tanah baki granit. Perbezaan yang agak jauh bagi nilai graviti tentu adalah berkaitan dengan saiz sampel dan teknik penyediaan serta prosedur ujikaji (Gidigasu, 1976). Mengikut Todo & Pauzi (1989), nilai graviti tentu tanah baki tidak berubah dengan kedalaman.

Jadual 2.5 menunjukkan nilai graviti tentu di Malaysia dan beberapa negara lain. Secara purata, nilai graviti tentu di Malaysia berjulat di antara 2.50 sehingga 2.70. Namun begitu kajian oleh Tan (1995) bagi sampel dari lebuh raya Karak memperoleh nilai graviti tentu yang agak kecil sehingga 2.30. Kajian oleh Tan (1995) di Sungai Ara Pulau Pinang dan Chan & Chin (1972) di Kuala Lumpur menunjukkan nilai graviti tentu yang lebih besar daripada 2.7. Kajian di Singapura pula menunjukkan julat nilai graviti tentu di antara 2.55 sehingga 2.75. Nilai yang diperoleh dari Singapura juga menunjukkan persamaan dengan keputusan yang diperoleh dari tanah baki di Malaysia. Kajian Sinclair (1980) di Sri Lanka memberikan nilai yang tertinggi iaitu 2.85. Perbezaan yang ketara di antara nilai graviti tentu di Malaysia dan Singapura dengan Sri Lanka adalah disebabkan oleh lokasi yang berlainan.

2.8.5 Taburan Saiz Zarah

Ciri-ciri zarah tanah baki telah dibincangkan oleh Nixon and Skip (1957), Vallerga, *et al.* (1969), Gidigas and Bhatia (1971) dan Gidigas (1972). Kajian mereka mendapati ciri-ciri tanah baki dipengaruhi oleh bahan asal, mod pembentukan, darjah luluhawa serta kedudukan sampel di tapak seperti kedalaman. Menurut Gidigas (1976), ciri-ciri tekstur jenis batuan asal menggambarkan ciri-ciri saiz zarah tanah yang terbentuk. Sebagai contoh tanah yang terbentuk daripada granit mempunyai kandungan lempung yang tinggi berbanding tanah yang terbentuk daripada batuan batu pasir. Namun begitu tanah yang terhasil daripada batuan batu pasir lebih seragam berbanding tanah batuan granit. Di samping itu, darjah atau tahap larut lesap juga turut mempengaruhi lengkung penggredan atau taburan saiz zarah (Gidigas, 1971). Pitts & Kannan (1986) telah membuat perbandingan di antara taburan saiz zarah bagi tanah baki dari batuan igneus di Singapura dan tanah baki dari batuan metamorfik di Sri Lanka. Beliau mendapati bahawa tanah baki granit mempunyai kandungan lempung yang rendah berbanding tanah baki dari batuan asal jenis lain.

Keadaan topografi tanah baki juga mempengaruhi taburan saiz zarah. Dowling (1966) mendapati tanah baki di kaki cerun mempunyai saiz zarah tanah yang lebih kasar berbanding dengan tanah di kawasan tinggi. Ini kerana pemecahan batu berlaku dengan cepat menyebabkan permukaan curam terdedah dan terhakis bagi membentuk bahan yang kasar.

Taburan saiz zarah juga dipengaruhi oleh keadaan cuaca. Kajian yang dijalankan oleh Jenny (1941) menunjukkan bahawa kandungan lempung dipengaruhi oleh suhu. Kandungan lempung akan berkadar terus dengan suhu di mana semakin tinggi suhu maka semakin tinggi nilai kandungan lempung. Mengikut Prescott & Hosking (1936) dan Jenny (1941) kandungan feldspar dan curahan hujan juga mempengaruhi pembentukan lempung. Semakin tinggi nilai kandungan feldspar serta semakin tinggi nilai curahan hujan, maka semakin tinggi nilai kandungan lempung.

Mengikut Lee (1967), Tan & Ong (1993) dan Zhao (1994), kandungan lempung berkurang dengan kedalaman sementara kandungan kelodak dan pasir akan

meningkat dengan kedalaman. Ting (1976) mengatakan bahawa tanah baki granit boleh diklasifikasikan sebagai kerencaman pasir-kelodak-lempung. Kusnaeny (1973) (dalam Komoo (1989)) dan Todo, *et al.* (1994) pula mengklasifikasikan tanah baki sebagai kelodak berpasir atau pasir bertanah liat. Kebanyakan pengkaji menyatakan tanah baki adalah tanah liat berpasir. Winn, *et al.* (2001) telah membahagikan tanah baki kepada dua bahagian utama iaitu tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Tanah berbutir halus biasanya dikelaskan sebagai lempung kelodak berpasir yang mempunyai kandungan kelodak dan lempung sehingga 75 % sementara tanah berbutir kasar pula mempunyai kandungan kelodak dan lempung antara 50%-60%. Beliau juga menyatakan bahawa berlaku luluhawa sekunder pada lapisan atas tanah dan membentuk butiran halus. Namun begitu pada sesetengah tempat, lapisan atas tersebut hilang disebabkan oleh hakisan atau kerja tanah.

Kesukaran menentukan taburan zarah tanah baki telah dilaporkan oleh ramai penyelidik di mana keputusan ujikaji dipengaruhi oleh kaedah penyediaan dan prosedur ujian. Di antaranya Terzaghi (1958), Newill (1961) dan Townsend, *et al.* (1969), (1971). Sebagai contoh, kajian yang dijalankan oleh Townsend, *et al.* (1971) menunjukkan bahawa agen penyerakan yang digunakan semasa analisis ayakan juga mempengaruhi taburan zarah. Beliau mendapati bahawa sodium hexametaphosphate merupakan agen penyerakan yang terbaik. Kesan penggunaan agen penyerakan ini ditunjukkan dalam Rajah 2.11. Penggunaan sodium hexametaphosphate memberikan nilai kandungan lempung yang tinggi berbanding agen penyerakan sodium oxalate, ammonium oxalate dan di-sodium hydrogen phosphate. Ini menunjukkan sodium hexametaphosphate dapat menyerakkan zarah tanah yang kecil dengan lebih baik.

Mengikut Gidigas (1976), dua faktor utama kesukaran mencapai keputusan yang seragam adalah disebabkan sifat yang mudah meleraikan bahan yang lemah dalam tanah baki dan kesan perekatan sesquioxida yang mengikat pecahan lempung dan kelodak seterusnya membentuk pecahan yang kasar. Bagi mengatasi masalah ini, beliau mencadangkan penggunaan agen penyerakan sodium hexametaphosphate digunakan bagi semua jenis tanah baki.

Jadual 2.6 menunjukkan taburan saiz zarah dan pengelasan tanah baki yang diperolehi daripada pengkaji-pengkaji lepas. Didapati peratus lempung, kelodak, pasir

dan kerikil berbeza-beza dan tidak seragam. Bagi tanah baki di Malaysia, kandungan lempung, kelodak, pasir dan kerikil masing-masing berjulat di antara 0% - 60%, 0.3% - 70%, 9% - 96.5% dan 0% - 60%. Kajian di Singapura dan Thailand pula didapati mempunyai julat yang hampir sama dengan kajian di Malaysia iaitu kandungan lempung, kelodak, pasir dan kerikil masing-masing berjulat di antara 0%-60%, 5%-77%, 4%-60% dan 0%-40%. Kajian dari Afrika Selatan, Sri Lanka, dan Jepun menunjukkan peratus kandungan lempung dan kelodak yang lebih rendah kecuali keputusan dari India Barat. Kandungan lempung, kelodak, pasir dan kerikil masing-masing berjulat di antara 0%- 30%, 4%-32%, 28%-62% dan 0%-50%.

2.8.6 Had Atterberg

Air yang berada di dalam lompong sesuatu tanah boleh memberikan kesan terhadap kelakuan kejuruteraan tanah berzarah halus. Penentuan kandungan lembapan semulajadi adalah penting, namun begitu kaitan di antara kandungan air dengan beberapa aspek kejuruteraan yang piawai juga perlu diketahui. Oleh itu, penentuan had-had Atterberg adalah merupakan ujikaji penting bagi mengetahui kaitan serta kelakuan kejuruteraan sesuatu tanah.

Had-had Atterberg adalah merujuk kepada perubahan kandungan air pada had tertentu atau peringkat genting dalam kelakuan tanah. Perkaitan di antara kandungan air dan kelakuan tanah ditunjukkan dalam Rajah 2.12. Apabila kandungan air semakin bertambah maka tanah berubah daripada pepejal rapuh kepada pepejal plastik dan kepada cecair. Rajah tersebut juga menunjukkan perkaitan kandungan air dengan lengkung tegasan-terikan yang sepadan dengan keadaan itu. Apabila kandungan lembapan lebih kecil daripada had plastik tanah, maka tegasan dalam tanah maksimum akan tercapai dan berhenti secara tiba-tiba. Bagi keadaan kandungan lembapan yang bersamaan dengan nilai had plastik, didapati berlaku kegagalan puncak manakala apabila kandungan lembapan bersamaan dengan had cecair, maka tegasan maksimum sukar untuk dijangkakan. Bagi keadaan kandungan lembapan yang lebih besar dari had cecair, tegasan tidak akan berlaku apabila dikenakan ricihan.

Mengikut Holtz & Kovacs (1981), indeks kecairan (I_L) menunjukkan hubungkait di antara kandungan air dengan had plastik dan had cecair. Dengan cara ini, sampel tanah dapat diketahui sama ada bertindak sebagai plastik, pepejal rapuh atau cecair. Indeks kecairan ditakrifkan sebagai

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (2.2)$$

di mana,

w = kandungan air

w_p = had plastik

I_p = indeks keplastikan

Had Atterberg berkait dengan saiz zarah dan komposisi mineral. Nilai Indeks keplastikan bergantung kepada pecahan lempung yang terdapat dalam sesuatu tanah. Hubungan di antara Indeks keplastikan dan pecahan lempung dikenali sebagai aktiviti (A) di mana

$$\text{Aktiviti} = \frac{I_p}{\text{Peratus lempung}} \quad (2.3)$$

Lempung yang mempunyai keaktifan antara 0.75 dan 1.25 dikelaskan sebagai 'biasa', $A < 0.75$ sebagai lempung tak aktif dan $A > 1.25$ adalah lempung aktif (Holtz & Kovacs, 1981 dan Head, 1992). Apabila nilai A bertambah, kemungkinan sifat-sifat kejuruteraan tanah dipengaruhi oleh kandungan lempung adalah tinggi. Menurut Rollings & Rollings (1996), jenis mineral lempung dan jumlah kandungan lempung di dalam tanah mempengaruhi kelakuan sesuatu tanah. Mengikut Vaughan (1988), pertambahan aktiviti dalam tanah baki menjadikan nilai indeks mampatan semakin tinggi.

Tan & Ong (1993) telah menunjukkan bahawa had cecair dan had plastik tanah baki berkurang dengan kedalaman disebabkan oleh pengurangan kandungan lempung dengan bertambahnya kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.13. Kajian mereka juga menunjukkan bahawa tanah baki granit gred VI mempunyai keplastikan tinggi sehingga keplastikan tersangat tinggi dan kebanyakan titik terletak di bawah garisan 'A' seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.14. Titik-titik yang diperolehi adalah berselerak dan dalam julat yang agak besar. Menurut

Todo *et al.* (1994), keputusan ini berlaku disebabkan oleh perbezaan komposisi mineral dalam batuan asal serta perbezaan tahap luluhawa kimia.

Mengikut Zhao (1994), had plastik tidak mempunyai haluan atau nilai yang muktamad. Had cecair berkurang dengan kedalaman dan begitu juga dengan nilai Indeks keplastikan. Sinclair (1980) yang menjalankan kajian di Sri Lanka mendapati kebanyakan data yang diperoleh dari tanah baki adalah berplastikan sederhana sehingga keplastikan tinggi dan diplot di bawah garisan 'A' di atas carta keplastikan Casagrande. Beliau juga menyatakan bahawa pengeringan memberikan kesan yang kecil ke atas nilai had Atterberg. Namun begitu, kajian oleh Townsend (1985) pula mendapati titik-titik berada pada kedua-dua belah garis A dan mempunyai keplastikan tinggi sehingga rendah.

Jadual 2.7 menunjukkan nilai had-had Atterberg tanah baki granit daripada pengkaji-pengkaji lepas dari Malaysia dan Singapura. Secara umumnya, tanah baki granit di Malaysia mempunyai nilai had cecair, had plastik dan indeks keplastikan masing-masing berjulat di antara 25-110%, 18-50% dan 1-74%. Sementara bagi tanah baki granit di Singapura pula nilai had cecair, had plastik dan indeks keplastikan masing-masing berjulat di antara 20-80%, 14-29% dan 5-60%.

Nilai-nilai had Atterberg yang diperoleh bagi tanah baki dari Malaysia dan Singapura adalah hampir sama. Ini disebabkan oleh Singapura terletak bersebelahan dengan Malaysia yang mempunyai iklim yang hampir sama. Justeru itu, ciri-ciri kejuruteraan tanah juga adalah hampir sama.

2.9 Kebolehmampatan Tanah Baki

Pemahaman tentang sifat-sifat kebolehmampatan tanah baki adalah amat penting dalam reka bentuk geoteknik terutamanya bagi reka bentuk asas cetek. Keupayaan gelas kadangkala bukanlah merupakan masalah utama bagi tanah baki tapi lebih kepada daya pengembangan dan pengecutan akibat daripada keadaan basah

dan kering. Keadaan ini menyebabkan struktur ringan mengalami anjakan dan enapan (Gidigasu, 1976).

Kebolehmampatan tanah merupakan perkara yang berkaitan dengan jurutera dalam rekabentuk dan pembinaan asas, tambakan, empangan dan sebagainya. Pengukuhan pula adalah merujuk kepada pengurangan isipadu bagi tanah tepu apabila dikenakan beban tetap dalam jangka masa yang panjang. Pengukuhan dalam tanah biasanya ditentukan melalui pengurangan nisbah lompong di dalam tanah. Menurut Terzaghi & Frolich (1936) (dalam Gidigasu (1976)), enapan bagi sesuatu struktur, boleh diramalkan dengan agak tepat menggunakan ujian kebolehmampatan. Ini secara tidak langsung dapat membantu jurutera dalam rekabentuk, terutamanya bagi mengelakkan kesan enapan kebezaan yang serius. Walaupun begitu, kajian terhadap pengukuhan tanah baki di Malaysia agak kurang.

Terdapat berbagai kaedah penentuan kebolehmampatan tanah baki. Kaedah di tapak termasuk ujian penusukan piawai, ujian meter tekanan dan ujian beban plat boleh digunakan. Ujikaji di makmal pula melibatkan kaedah oedometer dan ujian mampatan tiga paksi.

2.9.1 Pengukuhan dan Kebolehmampatan Tanah Semulajadi

Ujian pengukuhan biasanya dijalankan sama ada ke atas tanah tak terganggu, bagi reka bentuk asas atau tanah di acu semula atau dipadatkan, bagi pembinaan tambakan serta empangan tanah. Data daripada ujian pengukuhan digunakan untuk menentukan beberapa parameter yang penting di antaranya ialah pekali pengukuhan c_v , indeks mampatan (C_c), pekali isipadu kebolehmampatan (m_v) dan juga pekali kebolehtelapan (k). Indeks mampatan boleh diperoleh daripada kecerunan lengkung nisbah lompong melawan log tegasan, iaitu:

$$c_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log_{10} p} \quad (2.4)$$

di mana,

e = nisbah lompong

ρ = tegasan berkesan

Pekali kebolehtelapan boleh diperoleh daripada data pengukuhan menggunakan persamaan berikut:

$$k = c_v m_v \gamma_w \quad (2.5)$$

di mana,

c_v = pekali pengukuhan

m_v = pekali kebolehmampatan isipadu

γ_w = berat unit air

2.9.2 Ciri-ciri Pengukuhan Tanah Baki

Penilaian ciri-ciri pengukuhan tanah baki berdasarkan teori pengukuhan Terzaghi adalah berguna dalam meramalkan enapan sesuatu struktur. Vargas (1953), Lumb (1962), McKechnie (1967) dan Ruddock (1967), melaporkan bahawa pengurangan nisbah lompong semasa tekanan normal dikenakan ke atas tanah baki adalah bersifat sama dengan fenomena pengukuhan bagi tanah terangkut.

Menurut Barksdale & Blight (1997), tanah baki adalah bersifat terkukuh lebih. Menurut Gidigasu (1976) pula, ciri-ciri pengukuhan bagi kebanyakan tanah baki adalah bergantung kepada jenis batuan asal, kedalaman sampel, struktur tanah, kaedah penyediaan sampel dan prosedur ujian pengukuhan. Menurut Chang & Broms (1990) pula, tanah baki mempunyai kebolehmampatan yang rendah dan semakin kukuh dengan pertambahan kedalaman. Vargas (1953), telah membuktikan bahawa batuan asal serta kaedah pengujian mempengaruhi pengukuhan tanah baki seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.15. Perbandingan lengkung mampatan telah dilakukan dan ianya menunjukkan tanah baki granit berbeza dengan tanah baki yang berasal dari batuan gneis. Perbezaan yang jelas adalah nilai nisbah lompong di mana nisbah lompong bagi tanah baki granit adalah lebih tinggi berbanding tanah baki

gneis. Rajah 2.16 pula menunjukkan lengkung pengukuhan tanah baki granit berbanding kedalaman. Didapati bentuk lengkung yang diperoleh adalah hampir sama bagi setiap kedalaman tetapi dengan nisbah lompang yang berlainan. Pada kedalaman yang cetek, nisbah lompang tanah baki granit adalah tinggi dan nilainya berkurang dengan pertambahan kedalaman berbanding dengan tanah baki gneis pada tegasan yang sama. Nisbah lompang bagi tanah baki adalah berbeza-beza bergantung kepada batuan asal, jenis luluhawa dan keadaan tegasan. Ini disebabkan oleh kepelbagaian jumlah hasil luluhawa yang telah dilarut lesap dari tanah (Lumb, 1962).

Jadual 2.8 menunjukkan parameter-parameter kebolehmampatan tanah baki granit daripada penyelidikan sebelum ini. Kajian terhadap kebolehmampatan tanah baki di Malaysia dan negara luar adalah masih kurang. Nilai indeks mampatan di antara 0.045 – 0.18 yang diperoleh oleh Yong, *et al.* (1985) menunjukkan enapan pengukuhan yang terhasil pada tanah baki adalah kecil. Ini adalah benar mengikut Lumb (1965) dan Chang & Broms (1990) bahawa kebolehmampatan tanah baki adalah rendah terutamanya tanah baki granit. Pengukuhan tanah di gambarkan dengan parameter tanah seperti indeks mampatan, C_c dan Indeks pengembangan, C_s . Mengikut Vaughan (1988), indeks mampatan bertambah dengan pertambahan aktiviti dan jumlah kehadiran lempung dalam tanah baki. Di samping itu, indeks mampatan juga dipengaruhi oleh nisbah lompang dalam sesuatu tanah. Semakin bertambah nilai nisbah lompang, semakin tinggi nilai indeks mampatan (Pender, 1971).

Tidak banyak pengkaji menentukan nilai pekali pengukuhan dalam tanah baki. Namun begitu, kajian oleh Balasubramaniam, *et al.* (1985) di Malaysia menunjukkan nilai pekali pengukuhan adalah tinggi iaitu berjulat antara 23 dan 788 m^2/tahun .

2.10 Ciri-ciri Kebolehtelapan Tanah Baki

2.10.1 Pengenalan

Kebolehtelapan adalah kadar alir air yang mengalir melalui liang-liang dalam tanah. Walaupun kebolehtelapan memainkan pengaruh yang besar terhadap resapan bagi kestabilan cerun, rekabentuk asas bagi empangan dan pengorekan, maklumat mengenai kebolehtelapan tanah baki adalah sangat terhad. Kadar enapan tanah yang tepu juga dipengaruhi oleh kebolehtelapan tanah. Semakin tinggi nilai kebolehtelapan tanah, semakin tinggi kadar enapan tanah. Kebolehtelapan tanah bergantung kepada saiz zarah, ciri-ciri cecair, nisbah lompong, struktur tanah serta tahap ketepuan (Lambe, 1954) dalam Gidigas (1976). Perubahan makrofabrik dalam profil luluhawa tanah baki akan menyebabkan perubahan dalam kebolehtelapan sama ada secara sisi atau dengan kedalaman Gidigas (1976).

2.10.2 Ciri-ciri Kebolehtelapan Tanah Baki

Kajian Lumb (1962) dan Blight (1997) masing-masing menunjukkan perbezaan keputusan ujikaji kebolehtelapan bagi tanah baki di Hong Kong dan Afrika Selatan. Menurut Lumb (1962), Vargas (1953) dan Blight (1997), kepelbagaian taburan zarah, nisbah lompong, mineralogi, tahap rekahan dan ciri-ciri rekahan mempengaruhi nilai kebolehtelapan. Gidigas (1976) pula menyatakan bahawa pekali kebolehtelapan bagi tanah baki tak terganggu dipengaruhi oleh darjah luluhawa, tekstur tanah dan nisbah lompong. Jadual 2.9 menunjukkan perhubungan kebolehtelapan profil luluhawa batuan igneus dan metamorfik. Jadual tersebut menunjukkan bahawa tanah baki serta koluvium mempunyai kebolehtelapan yang rendah. Jadual 2.10 pula menunjukkan beberapa nilai kebolehtelapan yang diperoleh daripada ujikaji sampel tanah tak terganggu yang dijalankan di makmal dan di tapak oleh Garga & Blight (1997). Ujian makmal bagi tanah baki granit memberikan nilai pekali kebolehtelapan berjulat antara 1.9×10^{-6} – 4.75×10^{-9} m/s. Kaedah pengujian kebolehtelapan juga mempengaruhi nilai pekali kebolehtelapan. Didapati nilai pekali

kebolehtelapan yang dikira daripada ujian pengukuhan adalah lebih kecil jika dibandingkan dengan ujian makmal.

Jadual 2.10 juga menunjukkan perbezaan di antara tanah baki muda dan tanah baki matang. Keputusan menunjukkan tanah baki matang mempunyai nilai pekali kebolehtelapan yang lebih kecil berbanding dengan nilai pekali kebolehtelapan bagi tanah baki muda. Ini kerana tanah baki matang terbentuk akibat proses luluhawa yang lebih lama berbanding dengan tanah baki muda. Justeru itu kandungan lempung yang hadir di dalam tanah baki matang adalah lebih tinggi berbanding tanah baki muda. Kehadiran lempung yang tinggi dalam tanah baki matang menjadikan nilai pekali kebolehtelapan lebih rendah.

Kaedah yang digunakan untuk menentukan kebolehtelapan bagi tanah baki sama ada di tapak atau di makmal adalah sama dengan tanah terangkut. Kaedah yang lazim digunakan di tapak ialah ujian turus tetap dan ujian turus menurun dalam lubang jara, lubang Auger dan ujian lubang (Brand & Philipson, 1985). Mereka juga menyatakan bahawa ujian di tapak sering menjadi pilihan di peringkat antarabangsa bagi ujian kebolehtelapan tanah baki. Ini adalah kerana saiz sampel tak terganggu adalah kecil dan terhad untuk ujian di makmal, justeru itu ujian kebolehtelapan di tapak menjadi pilihan.

Jadual 2.11 menunjukkan nilai pekali kebolehtelapan yang diperoleh daripada pengkaji lepas. Didapati nilai pekali kebolehtelapan bagi tanah baki Malaysia berjulat antara $1.4 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-9}$ m/s. Julat nilai pekali kebolehtelapan bagi tanah baki Singapura juga lebih kurang sama dengan nilai pekali kebolehtelapan di Malaysia iaitu berjulat antar $10^{-8} - 10^{-9}$ m/s. Ini disebabkan Malaysia dan Singapura adalah negara berjiran yang mengalami iklim yang hampir sama dan justeru itu, sifat-sifat kejuruteraan tanah juga adalah hampir sama. Namun begitu, kajian di Ghana dan Brazil juga menunjukkan nilai yang hampir sama dengan yang diperoleh dari tanah baki Malaysia dan Singapura. Secara umumnya boleh disimpulkan bahawa tanah baki granit mempunyai nilai kebolehtelapan yang rendah. Namun begitu bagi tanah baki di Hong Kong, nilai pekali kebolehtelapan adalah tinggi iaitu berjulat antara 10^{-4} sehingga 10^{-6} m²/s. Winn, *et al.* (2001) telah membuat perbandingan nilai pekali kebolehtelapan tanah baki granit di antara ujian turus menurun di makmal

dengan di tapak serta kiraan menggunakan persamaan daripada data pengukuhan ujian oedometer seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.11. Daripada jadual tersebut didapati ujian turus menurun di tapak memberikan nilai yang besar iaitu 10^{-6} hingga 10^{-8} m/s berbanding dengan kiraan balik daripada ujian pengukuhan yang memberikan nilai pekali kebolehtelapan yang lebih kecil iaitu $10^{-8} - 10^{-9}$ m/s.

Nilai kebolehtelapan yang ditentukan di makmal tidak semestinya menggambarkan kelakuan tanah baki di tapak. Todo, *et al.* (1994) mengatakan pemalar bagi kebolehtelapan tanah baki adalah dalam lingkungan 10^{-7} m/s. Townsend (1985) pula mengatakan pemalar kebolehtelapan di antara 10^{-5} - 10^{-8} m/s. Menurut Zhao (1994), kebolehtelapan bagi tanah baki bertambah dengan kedalaman disebabkan oleh pengurangan peratus lempung.

2.11 Kekuatan Ricih Tanah

2.11.1 Pengenalan

Kajian tentang ciri-ciri kekuatan ricih tanah baki di Malaysia telah dijalankan oleh Lee (1967), Chan & Chin (1972), Ting & Ooi (1976), Balasubramaniam, *et al.* (1985), Todo & Pauzi (1989), Ramli (1991), Suhaimi & Abdul (1994), Keppli (1994) dan Anuar & Ali (1997)

Kekuatan ricih merupakan salah satu ciri yang amat penting dalam kejuruteraan geoteknik. Masalah-masalah geoteknik yang melibatkan kekuatan ricih tanah adalah seperti kestabilan cerun, asas cetek atau dalam, potongan, tambakan dan empangan, reka bentuk turapan dan tegasan sisi terhadap tembok penahan. Struktur yang dibina mesti stabil dan kukuh apabila dikenakan beban maksimum yang dijangkakan. Dalam sesuatu reka bentuk, penentuan kekuatan ricih tanah adalah diperlukan. Pemilihan sampel juga bergantung kepada jenis binaan yang diperlukan. Sebagai contoh sampel tak terganggu perlu diambil bagi tanah yang menyokong asas dan sampel terganggu bagi struktur tanah yang terubah seperti tambakan, jalan dan

sebagainya. Hanya sebilangan kecil masalah pembinaan tidak melibatkan kekuatan ricih tanah.

Kekuatan ricih tanah adalah terhasil dari dua komponen utama iaitu rintangan geseran yang menghalang berlakunya gelangsar di antara zarah dan kejelekitan atau rekatan di antara zarah. Ia juga dipengaruhi oleh kandungan lembapan, tekanan liang, gangguan kepada struktur, turun naik paras air bumi, sejarah tegasan, masa, tindak balas kimia dan keadaan persekitaran (Cernica, 1995).

2.11.2 Penentuan Kekuatan Ricih Tanah

Kekuatan ricih tanah yang diperoleh daripada ujian tiga paksi boleh ditentukan melalui pelotan menggunakan kaedah Mohr-Coulomb. Kriteria kegagalan mengandaikan bahawa garis liputan yang menyentuh bulatan kegagalan Mohr bersamaan dengan garis kegagalan Coulomb seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.17. Persamaan kekuatan ricih Coulomb adalah (Craig, 1993):

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.6)$$

di mana,

τ = kekuatan ricih

c = kejelekitan

σ_n = tegasan normal

ϕ = sudut geseran

Selain daripada itu, parameter kekuatan ricih tanah boleh ditentukan dengan menggunakan kaedah laluan tegasan. Laluan tegasan memberikan gambaran yang jelas mengenai urutan keadaan tegasan yang dialami oleh tanah. Penggunaan laluan tegasan membolehkan jurutera geoteknik mengenali dengan mudah corak tegasan yang dapat membantu mengenal pasti kelakuan tanah tersebut. Terdapat beberapa kaedah dalam memplot laluan tegasan. Di antaranya kaedah Massachusetts Institute of Technology (MIT) dan Cambridge. Dalam kaedah MIT, titik tegasan menunjukkan tegasan ricih maksimum bagi setiap ujian. Kaedah ini digambarkan dengan jelas dengan pelotan graf t (tegasan ricih) melawan s (tegasan berkesan). Parameter t dan s ditentukan melalui:

$$t = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (2.7)$$

$$s = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \quad (2.8)$$

di mana,

σ'_1 = tekanan paksi atau tekanan utama major berkesan

σ'_3 = tekanan sel atau tekanan utama minor berkesan

Apabila ia diplotkan iaitu t (kN/m²) untuk paksi Y dan s (kN/m²) untuk paksi X, sudut geseran berkesan (ϕ') boleh ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\tan \alpha' = \sin \phi' \quad (2.9)$$

di mana,

α' = sudut kecerunan garisan kegagalan.

Nilai kejelekitan berkesan (c') pula boleh diperolehi menggunakan persamaan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.18:

$$a = c' \cos \phi' \quad (2.10)$$

Satu lagi kaedah dalam memplot laluan tegasan ialah kaedah Cambridge. Dalam kaedah ini, q sebagai paksi Y adalah tegasan sisih dan boleh ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3 \quad (2.11)$$

di mana,

σ'_1 = tekanan paksi atau tekanan utama major berkesan

σ'_3 = tekanan paksi atau tekanan utama minor berkesan

p pula diletakkan pada paksi X boleh ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$p = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3} \quad (2.12)$$

dimana,

σ'_1 = tekanan paksi atau tekanan utama major berkesan

σ'_3 = tekanan sel atau tekanan utama minor berkesan

Apabila ia diplotkan iaitu q (kN/m²) untuk paksi Y dan p (kN/m²) untuk paksi X seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.19, sudut geseran berkesan (ϕ') boleh ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\sin \phi' = \frac{3 \tan \eta}{6 + \tan \eta} \quad (2.13)$$

di mana,

η = sudut garisan kegagalan yang diplotkan

Nilai kejelekitan berkesan (c') pula boleh diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$c' = \frac{3 - \sin \phi'}{6 \cos \phi'} q_0 \quad (2.14)$$

dimana,

ϕ' = sudut geseran berkesan

q_0 = pintasan pada paksi q

2.11.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Ricih Tanah Baki

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan ricih tanah baki iaitu zarah tanah, ikatan, struktur relikta dan ketakselajaran, tak isotropi dan nisbah lompong atau ketumpatan. Jadual 2.12 menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan ricih tanah baki berbanding tanah terangkut dari aspek sejarah tegasan, butiran tanah, ikatan, struktur ketakselajaran, tak isotropi dan nisbah lompong atau ketumpatan.

2.11.3.1 Sejarah Tegasan

Tanah baki terbentuk daripada sejarah luluhawa dan zarah yang terbentuk adalah hasil daripada proses kimia seperti larut lesap dan pemendakan. Walaupun berlaku perubahan terhadap tegasan di tapak berbanding tegasan sebelumnya tetapi

kesannya adalah kecil (Vaughan, 1988). Justeru itu sejarah tegasan adalah tidak penting bagi tanah baki.

2.11.3.2 Kekuatan Zarah/Butiran

Luluhawa menghasilkan zarah atau butiran dengan berbagai tahap kelemahan yang bergantung kepada tahap luluhawa. Justeru itu zarah tanah menggambarkan kepelbagaian kekuatan hancur berbanding tanah terangkut (Brenner, *et al.* 1997).

2.11.3.3 Ikatan

Salah satu ciri yang terdapat dalam tanah baki adalah ikatan di antara zarah tanah. Ikatan ini menggambarkan komponen kekuatan dan kekukuhan yang tidak bergantung kepada tegasan berkesan dan nisbah lompong atau ketumpatan. Menurut Vaughan (1988), pembentukan ikatan antara zarah adalah disebabkan oleh tiga faktor iaitu yang pertama, penyimenan melalui endapan karbonat, hidroksida, kandungan organik dan sebagainya. Faktor kedua ialah larutan dan pemendakan semula agen penyimenan seperti silikat dan faktor ketiga ialah peningkatan ikatan semasa pengubahan kimia mineral. Walaupun begitu kekuatan ikatan ini bergantung kepada jenis mineral dan tahap luluhawa.

Menurut Brenner, *et al.* (1997), ikatan antara zarah tanah akan berkurang beransur-ansur dengan luluhawa. Ini bermakna kekuatan tanah semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman.

Ikatan di antara zarah tanah adalah amat sensitif terhadap gangguan. Justeru itu perhatian harus diberikan semasa pensampelan, penyediaan sampel dan ujian kekuatan. Sebahagian daripada struktur ikatan mungkin musnah semasa proses penepuan disebabkan tegasan yang dikenakan terhadap spesimen.

2.11.3.4 Struktur Ketakselajaran

Batuan asal tanah baki mungkin mengandungi ketakselajaran yang mempunyai kekuatan yang rendah contohnya di antara sambungan batuan terluluhawa yang diisi oleh lempung yang mempunyai kekuatan yang rendah (Brenner *et al.*, 1997). Zon yang lemah ini masih wujud dalam tanah baki selepas berlakunya penguraian. Ianya sukar ditemui melalui pengorekan dan penggerudian. Spesimen uji kaji yang mempunyai struktur ketakselajaran ini biasanya akan gagal sepanjang permukaan yang lemah tersebut. Kehadiran ketakselajaran dalam tanah baki ini akan mempengaruhi kekuatan ricih tanah baki (Vaughan, 1988).

2.11.3.5 Tak Isotropi

Keadaan kekuatan tak isotropi di dalam tanah adalah bergantung kepada arah tegasan yang dikenakan. Bagi tanah terangkut, tegasan tak isotropi terbentuk secara terus daripada mod pengenapan dan sejarah tegasan endapan tersebut. Bagi tanah baki pula, sifat-sifat tak isotropi tersebut biasanya mewarisi sifat-sifat fabrik batuan asal di samping tegasan di situ.

2.11.3.6 Nisbah Lompang atau Ketumpatan

Di antara sifat-sifat penting yang mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan tanah baki ialah struktur tanah iaitu nisbah lompang atau ketumpatan spesimen ujian. Nisbah lompang di dalam tanah baki adalah menunjukkan proses luluhawa telah berlaku dan ianya tidak berkait terus dengan sejarah tegasan. Nisbah lompang adalah berbeza-beza dan ianya bergantung kepada ciri-ciri batuan asal. Di dalam tanah yang mempunyai ikatan yang lemah, nisbah lompang mempunyai pengaruh yang kuat terhadap kekuatan salir yang meningkat dengan ketumpatan. Kajian Penders (1971) terhadap tanah baki yang berasal daripada batu pasir menunjukkan pertambahan

nisbah lompong mengurangkan kejelekitan berkesan (c') dan sudut geseran berkesan (ϕ').

Mengikut Fookes (1997) pula, kekuatan ricih tanah baki dipengaruhi oleh :

- (i) Kewujudan ikatan di antara zarah merupakan komponen bagi kekuatan dan kekukuhan di mana ianya mudah musnah disebabkan oleh kesan kerapuhan.
- (ii) Nisbah lompong tanah baki yang berbeza-beza dan ianya tidak berkait dengan sejarah tegasan.
- (iii) Keadaan separa tepu menyebabkan gangguan semasa pensampelan.

Menurut Lumb (1965), apabila tanah baki berada dalam keadaan tidak tepu, nilai kejelekitan (c) adalah tinggi tetapi apabila tanah baki tepu sepenuhnya, nilai kejelekitan menjadi sifar atau bernilai sangat kecil. Faktor inilah yang menyebabkan cerun yang dipotong agak stabil pada musim kering dan akan mengalami kegagalan semasa musim hujan akibat penyerapan air hujan.

2.11.4 Ciri-ciri Kekuatan Ricih Tanah Baki

Kekuatan ricih tanah adalah satu aspek kejuruteraan geoteknik yang paling penting. Chang dan Broms (1990) menyatakan ciri-ciri kekuatan ricih tanah biasanya ditentukan menggunakan kekuatan ricih tak salir disebabkan oleh kebolehtelapan tanah yang rendah.

Kekuatan ricih adalah satu komponen yang penting dalam kestabilan cerun dan kebanyakan cerun, sama ada cerun semulajadi atau pemotongan, terdiri daripada tanah baki. Walau bagaimanapun penentuan kekuatan ricih tanah baki adalah lebih sukar disebabkan oleh kepelbagaian komposisi dalam tanah ini serta kesukaran mendapatkan sampel tanah tak terganggu yang berkualiti. Kualiti sampel boleh mempengaruhi kekuatan ricih tanah. Gangguan ke atas sampel tanah baki memberikan nilai kekuatan ricih tanah yang rendah disebabkan oleh keruntuhan struktur tanah dan meningkatkan nilai sudut geseran berkesan (ϕ'). Menurut Lumb

(1962), nilai sudut geseran berkesan (ϕ') dipengaruhi oleh nisbah lompong dan Lumb (1965) pula mengatakan bahawa kejelekitan dipengaruhi oleh tahap ketepuan dan juga nisbah lompong dalam ujian kekuatan ricih tak tersalir.

Kekuatan ricih dalam sebutan tegasan jumlah berkaitan dengan tanah baki tepu sementara sebutan dalam tegasan berkesan berkaitan dengan tanah baki separa tepu. Tetapi kebanyakan tanah baki adalah berkeadaan separa tepu jadi pengukuran dalam tegasan jumlah adalah tidak sesuai. Apabila parameter kekuatan ricih berkesan c' dan ϕ' ditentukan, penepuan ke atas spesimen diperlukan. Mengikut Fookes (1997), tekanan yang tinggi diperlukan dalam proses penepuan spesimen boleh meningkatkan kandungan lembapan tanah serta tahap ketepuan tanah seterusnya menyebabkan nilai c' berkurang kerana pengurangan sedutan tanah. Namun begitu menurut Bressani & Vaughan (1989), nilai ϕ' tidak dipengaruhi oleh penepuan tanah. Brand (1982) menyatakan bahawa nilai kejelekitan berkesan (c') yang diukur adalah sangat kecil.

Kajian di Malaysia oleh Todo *et al.* (1990, 1994) mengatakan kekuatan ricih di Malaysia adalah di antara 30-20 kN/m². Kajian Rahardjo *et al.* (1995) di Singapura pula mendapati kekuatan ricih tanah baki boleh mencapai sehingga 400 kN/m². Jadual 2.13 menunjukkan parameter kekuatan ricih tanah dari pengkaji terdahulu dengan kaedah ujian ricih terus dan ujian tiga paksi. Bagi kajian menggunakan kaedah ujian ricih terus, nilai kejelekitan berjulat di antara 0-113 kN/m² sementara nilai sudut geseran pula berjulat di antara 21°- 43°. Bagi ujian tiga paksi tak terkukuh tak salir nilai kejelekitan dan sudut geseran masing-masing berjulat antara 10-180 kN/m² dan 1-11°. Manakala bagi ujian tiga paksi terkukuh tak salir pula, nilai kejelekitan berkesan dan sudut geseran berkesan masing-masing berjulat antara 0-17 kN/m² dan 25-41°. Namun begitu kajian oleh Sinclair (1980) di Sri Lanka menunjukkan nilai kejelekitan berkesan adalah tinggi iaitu berjulat antara 80-275 kN/m². Anuar & Ali (1997) telah membuat perbandingan di antara ujian tak tersalir dengan ujian tersalir melalui ujian ricih terus. Didapati nilai kejelekitan lebih kecil dan nilai sudut geseran lebih besar diperoleh dari ujian tersalir dibandingkan dengan ujian tak tersalir. Mengikut Anuar & Ali (1997), nilai

kejelekitan yang tinggi bagi ujian tak salir adalah disebabkan oleh kehadiran tekanan air liang yang tinggi.

2.12 Mineralogi

Mineralogi merupakan faktor primer dalam tanah yang mengawal saiz, bentuk dan ciri-ciri fizikal dan kimia tanah. Menurut Syed Sheikh (1990), dalam proses luluhawa, julat bagi saiz zarah pepejal tanah boleh menjadi besar daripada kelikir dan batu bundar kepada zarah koloid yang lebih kecil. Beliau juga menyatakan bahawa dengan proses yang sama, mineral dalam tanah akan membentuk batuan-batuan. Mineral yang ditemui dalam batuan seperti granit terdiri daripada unsur yang lumrah wujud di bahagian luar bumi. Lebih kurang 99 % batuan di dalam kerak terdiri daripada lapan unsur. Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.14, yang mana silikon dan oksigen merupakan unsur yang paling utama di bahagian luar bumi. Unsur silikon dan oksigen bersama-sama dengan aluminium, ferum dan unsur yang biasa akan mudah membentuk sebatian kimia di antara satu sama lain. Maka, mineral batuan akan mengandungi unsur-unsur yang terdiri daripada silikat atau Al_2O_3 , kalsium (CaO), natrium (Na_2O), kalium (K_2O) atau magnesium (MgO).

Fasa pepejal tanah mengandungi pelbagai jumlah lempung berhablur, mineral bukan lempung, bahan lempung tak berhablur, bahan organik dan juga mendakan garam. Hablur mineral wujud dalam sebatian bagi kebanyakan tanah yang diambilkira dalam kejuruteraan dan jumlah bahan bukan lempung biasanya lebih tinggi dari jumlah bahan lempung. Justeru itu, lempung dan bahan organik dalam tanah biasanya mempengaruhi sifat-sifatnya (Mitchell, 1993).

Mineral-mineral yang lazim seperti aluminium hidrus silikat, magnesium atau ferum akan mengambil tempat bagi unsur aluminium dalam sebahagian mineral. Unsur-unsur alkali seperti ion Na^+ , K^+ ataupun alkali bumi seperti ion K^+ yang hadir dalam tanah juga akan membentuk mineral-mineral lazim. Bagi tanah baki, jenis-jenis mineralogi adalah berbagai-bagai yang mana ia dihasilkan daripada mineral

batuan induknya manakala bahan mineral yang terakhir pula adalah berkait rapat dengan darjah luluhawa.

2.12.1 Kepentingan Mineralogi Tanah dalam bidang Kejuruteraan Awam

Seperti yang diketahui, mineralogi merupakan faktor pengawalan yang menentukan saiz, bentuk dan permukaan zarah tanah. Ia juga menentukan interaksi dengan fasa bendalir. Faktor-faktor ini adalah penting dalam menentukan keplastikan, pengampulan, kebolehmampatan, kekuatan dan kelakuan konduktiviti bendalir. Menurut Mitchell (1993), mineralogi merupakan pemahaman bagi sifat-sifat geoteknikal tanah. Banyak kajian-kajian yang telah dijalankan oleh para pengkaji lepas dalam menentukan ciri-ciri fizikal kejuruteraan tanah berbanding dengan kajian dan penyelidikan ke atas mineralogi tanah. Justeru itu, mineralogi mempunyai hubungkait dengan sifat-sifat tanah sebagaimana kepentingan kerencaman dan struktur simen dan agregat dalam konkrit, atau struktur hablur keluli yang mempunyai kekuatan dan boleh upaya ubah bentuknya.

Mengikut Raihan *et al.* (1997), sejak tahun 1980, masalah alam sekitar khususnya yang melibatkan dengan bahan buangan yang selamat, pengurangan sisa bahaya dan sisa nuklear, pembersihan tapak pencemaran dan pengawalan air bawah tanah, telah dianggap sebagai satu masalah major dalam amalan kejuruteraan geoteknik. Oleh itu, kefahaman yang mendalam adalah perlu bagi ciri-ciri tanah dan kelakuannya kepada ciri-ciri fizikal dan kimia dalam jangka masa panjang yang mana ia mengawal kelakuan tanah di bawah perubahan dan keadaan sekitaran yang ekstrim (Mitchell, 1993, dan Danielson, 1986).

2.12.2 Mineral Lempung

Istilah lempung atau kadangkala disebut tanah lempung telah menimbulkan banyak kekeliruan. Wan Fuad dan Tan (1997) telah mentakrif lempung sebagai

bahan bersaiz butiran tertentu tanpa mengira komposisi mineraloginya. Istilah lempung merujuk kepada suatu kumpulan tertentu mineral alumino silikat bersaiz lempung, berbeza daripada oksida bersaiz lempung iaitu mineral bauksit dan limonit. Dalam kajian ini, penulis menggunakan beberapa istilah yang digunapakai oleh pengkaji-pengkaji lepas iaitu: (i) lempung, merujuk kepada bahan yang mengandungi zarah-zarah bersaiz kurang daripada $2\ \mu\text{m}$; (ii) mineral lempung, merujuk kepada mineral aluminosilikat terhidrat butiran halus; dan (iii) koloid, iaitu zarah-zarah butiran seni yang tersebar dalam keseluruhan air atau bendalir yang lain.

Hampir kesemua hasil luluhawa bersaiz lempung terdiri sama ada daripada silikon atau oksida, justeru itu, lempung silikat ialah lempung yang mengandungi mineral lempung seperti kaolinit, montmorilonit dan sebagainya, manakala lempung oksida ialah terdiri daripada unsur-unsur oksida ferum, aluminium dan sedikit mangan.

Sepanjang proses pembentukan mineral-mineral baru oleh proses luluhawa, genesis mineral lempung diiringi dengan pembuangan unsur-unsur mudah larut seperti ion K^+ , Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} , seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.20. Dalam tanah baki khususnya granit, pH tanah adalah berasid. Pembentukan kaolinit adalah aktif pada sekitaran tanah yang berasid, dengan saluran bebas, menyebabkan larutresap oleh ion Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ serta beberapa unsur surih yang lain.

Mengikut Wan Fuad dan Tan (1997), kaolinit akan mudah terbentuk dalam tanah disebabkan keadaan iklim yang lembap, taburan hujan yang melebihi penyejatan dan kebolehtelapan tanah yang tinggi. Justeru itu, montmorilonit merupakan hasil akhir luluhawa pada tanah tepu atau pada iklim separa panas. Secara amnya, unsur-unsur Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ mempunyai sifat mengembang apabila basah dan seterusnya kehadiran mineral montmorilonit yang tinggi mampu menyumbang kepada keadaan persekitaran yang buruk dan pencemaran. Kepadatan tinggi oleh ion ferum (Fe^{2+}) dan Mg^{2+} menjadi faktor penting dalam pembentukan montmorilonit. Pada tanah yang mempunyai saluran yang bebas, montmorilonit boleh wujud sebagai hasil perantaraan dalam aliran reputan juzuk-juzuk feromagnesium dalam batuan mafik untuk menukar kepada mineral kaolinit. Apabila keadaan saluran

bertukar dan larutresap menjadi berkesan, montmorilonit boleh berubah menjadi kaolinit (Beavis, 1992, Mitchell, 1993, dan Deer *et al.*, 1966).

Kajian Wan Fuad dan Tan (1997) dan Beavis (1992) mendapati bahawa selain mineral lempung kaolinit dan motmorilonit, mineral ilit juga hadir dalam tanah baki. Ia dikenali sebagai mika hidrus, yang mana strukturnya adalah hampir sama dengan mineral montmorilonit disebabkan cas-cas yang belum diimbangi dalam lapisan yang dineutralkan oleh kation antara lapisan. Walaubagaimanapun, terdapat sedikit perbezaan pada ilit kerana ikatan antara lapisan oleh ion K^+ lebih kuat berbanding dengan ikatan ion yang lebih lemah seperti yang terdapat dalam montmorilonit dan ini akan menyebabkan pengembangan antara lapisan yang tidak wujud.

Selain mineral lempung, geotit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) yang tergolong dalam kumpulan mineral Fe_2O_3 dan Al_2O_3 hadir dalam tanah baki granit. Pembentukannya disebabkan oleh kejadian pengumpulan Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang melarut sebagai seskuioksida yang mana ia bertabur secara luas di kalangan bahan hasil luluhawa. Ion-ion Fe^{2+} yang tidak diperlukan dalam pembentukan mineral lempung dimendakkan sebagai oksida ferik terhidrat, khususnya dalam sekitaran yang aktif dalam proses pengoksidaan. Pada keadaan penurunan, Wan Fuad dan Tan (1997) menyatakan bahawa ferum ferus mungkin terkeluar daripada larutannya. Manakala, Al_2O_3 boleh terbentuk terus daripada batuan mafik dan perantaraan. Fe_2O_3 dan Al_2O_3 mampu untuk mencapai pembentukan maksimum dalam iklim tropika lembap. Al_2O_3 yang biasa dijumpai dalam tanah ialah mineral gipsit ($Al(OH)_3$). Pembentukan gipsit disebabkan oleh iklim tropika yang disebabkan oleh proses luluhawa batuan feldspar, mika dan mineral primer yang lain. Anion seperti fosfat dijumpai tersimpan atau termendak di permukaan gipsit. Mineral gipsit akan bertambah menjerap apabila nilai pH mula menurun, tetapi ikatannya sentiasa kurang dari fosfat. Mengikut Othman (1982), tanah di Malaysia yang mengalami luluhawa kimia yang aktif akan menggalakkan kehadiran mineral gipsit.

Kepekatan kation-kation seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} adalah penting disebabkan ia berkait rapat dengan ciri-ciri fizikal dan kimia mineral khususnya mineral tanah lempung. Kation-kation Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} adalah bercas positif

manakala anion seperti SO_4^{2-} dan Cl^- pula adalah bercas negatif. Rajah 2.21 dan Rajah 2.22 menunjukkan Lapisan Dwi Resap yang mana pada permukaan lempung, taburan ion-ion bercas positif adalah major daripada cas negatif. Namun, semakin jauh jarak ion-ion daripada permukaan lempung, ion-ion yang bercas positif dan negatif masing-masing berkurangan dan bertambah sehingga kedua-dua cas tersebut akan bertemu pada satu takat sehingga ia menjadi malar.

Apa yang berlaku adalah, kajian daripada Shamsudin (1981), permukaan lempung adalah bercas negatif. Untuk mengecualikan cas negatif ini, lempung akan menjerap dan menarik kation. Kation itu bukan berada di permukaan tetapi bertaburan di sekitar permukaan lempung dengan kepekatan yang bertambah, berdekatan dengan permukaan tanah lempung. Aktiviti tarikan ini dikenali dengan daya Van der Waal (Mitchell, 1993). Rajah 2.21 dan 2.22, menyatakan bahawa kepekatan cas negatif berkurangan apabila menghampiri permukaan. Kepekatan cas positif dan negatif akan menjadi malar pada satu takat. Takat tersebut malar apabila kesemua kepekatan ion akan mencapai keseimbangan.

Mineral lempung hadir dengan kuantiti yang banyak dalam kebanyakan bahan luluhawa, dan berubah-ubah dari segi komposisi kimia serta muatan pertukaran ion. Struktur hablur mineral lempung biasa dicirikan mengikut struktur yang berlapis iaitu struktur yang terdiri daripada tetrahedron dan oktahedron. Lapisan tetrahedron terdiri daripada kumpulan berpaut $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4$ yang setiap ion silikon (Si^{4+}) atau aluminium (Al^{3+})nya dikelilingi oleh empat ion oksigen (O^{2-}) dengan konfigurasi tetrahedron. Struktur tetrahedron dapat diperhatikan pada Rajah 2.23. Lapisan oktahedron pula terdiri daripada ion-ion Al^{3+} , Mg^{2+} , atau Fe^{2+} dikelilingi oleh enam ion O^{2-} atau hidroksida (OH^-) dengan konfigurasi oktahedron. Struktur oktahedron dapat diperhatikan pada Rajah 2.24. Menurut Deer *et al.* (1966), identiti mineral ditentukan melalui jujukan lapisan, unsur-unsur yang hadir dalam lapisan oktahedron, cas pada lapisan, dan sifat kation antara lapisan yang mengimbangi cas lapisan.

Rajah 2.25 menunjukkan imej mikroskop mineral kaolinit. Mineral kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) terdiri daripada satu lapisan oktahedron dan satu lapisan tetrahedron diikat bersama dengan berkongsi satu lapisan ion-ion O^{2-} dan OH^- sepunya.

Gabungan lapisan tetrahedron-tetrahedron diikat pula kepada lapisan serupa oleh ikatan hidrogen serta daya keionan yang lemah. Kaolinit digolongkan dalam struktur dua lapis dan tidak mempunyai lapisan air antara lembarnya seperti haloisit (Legget, 1988). Rajah 2.26 menunjukkan imej mikrograf mineral haloisit, iaitu sejenis mineral lain yang terdapat di dalam kumpulan mineral lempung. Selain kaolinit, montmorilonit juga hadir sebagai mineral minor. Rajah 2.27 menunjukkan imej mikrograf mineral montmorilonit. Pembentukan mineral ini adalah aktif dengan keadaan pH yang neutral hingga beralkali dan dengan larutresap oleh ion Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ serta unsur-unsur surih yang tidak lengkap. Bes-bes boleh tertahan dalam sistem samada disebabkan oleh saliran tersekat atau disebabkan oleh penyejatan yang berlebihan.

Kebanyakan mineral lempung yang lain mempunyai struktur tiga lapis, dengan satu lapis oktahedron terkepit antara dua lapisan tetrahedron. Dalam muskovit ($\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Al}_2\text{Si}_6)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$) satu perempat tapak tetrahedronnya mengandungi Al^{3+} dan bukan Si^{4+} , meninggalkan satu lapis pada lapisan tetrahedron dan oktahedron dengan nilai -2 bagi setiap unit formula. Cas tersebut diimbangi oleh ion K^+ antara lapisan. Mineral lempung berbutiran halus yang melencong sedikit sahaja daripada muskovit dikenali sebagai ilit. Rajah 2.28 menunjukkan imej mikrograf mineral ilit. Dalam mineral smektit (kumpulan montmorilonit), penggantian Mg^{2+} , Fe^{2+} atau kation dwivalensi lain dengan Al^{3+} dengan Si^{4+} di tapak tetrahedron, menimbulkan satu lapisan cas sehingga -0.67 bagi setiap unit formula. Cas lapisan tersebut diimbangi oleh Ca^{2+} , Na^+ dan ion-ion lain antara lapisan. Cas lapisan dan ciri-ciri ion tersebut menyebabkannya begitu mudah untuk meresap masuk ke dalam ruang antara dan mengelilingi kation antara lapisan. Struktur sebegini disebut sebagai boleh kembang kerana bilangan molekul air antara lapisan akan berbeza-beza, dan molekul organik juga boleh memasuki ruang antara lapisan, dengan menimbulkan ketebalan mengembang kepada struktur tersebut. Ion-ion terlarut boleh masuk dengan mudah ke tapak-tapak antara lapisan dan bertukar-tukar dengan ion-ion asal, dan disebut sebagai boleh tukar (Mitchell, 1993, dan Radzali dan Tuan Besar, 1992).

Dalam mineral lempung, wujudnya dua proses yang menyebabkan struktur dalam keadaan padat dan longgar iaitu flokulasi dan deflokulasi. Dalam keadaan padat didapati saiz dan bilangan liang mikronya adalah sedikit berbanding dengan

keadaan longgar yang mempunyai saiz dan bilangan liang mikro yang banyak. Menurut Shamsudin (1981) dan Mitchell (1993), fenomena flokulasi membuktikan adanya daya penarikan di antara zarah-zarah tanah. Daya yang dimaksudkan itu ialah daya tarikan Van der Waal. Dalam proses flokulasi, percantuman berlaku di antara:- (a) muka dengan muka hablur, (b) muka dengan tepi, dan (c) tepi dengan tepi. Walaubagaimanapun, tarikan Van der Waal bagi tiap-tiap jenis percantuman ini adalah berbeza. Dalam proses deflokulasi pula berlaku fenomena yang bertentangan sifatnya dengan flokulasi. Deflokulasi disebabkan oleh potensi zeta (potensi elektrokinetik) yang terdapat dalam sekitaran zarah-zarah tanah. Potensi zeta ialah potensi elektrik di dalam lapisan teresap yang terdapat di antara muka zarah dan cecair di sekelilingnya. Nilai potensi zeta ialah ukuran penolakan zarah. Nilai kritikalnya ialah di peringkat berlaku deflokulasi, di bawah nilai ini zarah tidak dapat menahan kejadian flokulasi. Untuk mendeflokulasikan zarah tanah, maka perlunya kation yang ada ditukarkan dengan kation yang mempunyai nilai potensi zeta yang tinggi, seperti Na^+ . Oleh itu, tanah yang mengandungi ion natrium akan mengalami peleraian apabila terkena hujan. Sementara tanah yang mengandungi kalsium dan magnesium mempunyai kestabilan yang tinggi. Proses flokulasi dan deflokulasi dapat diperhatikan secara gambarajah pada Rajah 2.29.

2.12.3 Pengecaman Mineralogi dan Kepekatan Kation dalam Tanah

Oleh sebab mineral lempung mempunyai saiz zarah yang kecil, pengecamannya menggunakan teknik mineralogi optik yang biasa digunakan dalam geologi adalah sukar. Oleh itu, kaedah lain seperti kaedah keratan nipis yang digunakan untuk mengenalinya.

Zarah-zarah tanah, ia terdiri mineral yang mempunyai pelbagai bentuk hablur. Mineral yang mempunyai struktur hablur yang tersusun dan berulang akan membelau sinar-X. Mineral yang berlainan mempunyai struktur hablur yang berbeza dan corak belauan sinar-X juga berbeza. Sebenarnya daripada pola yang berlainan inilah jenis-jenis mineral dikenalpasti. Corak belauan sinar-X untuk mineral yang biasa dijumpai telah diterbitkan dan agak mudah membandingkan corak belauan bagi

sampel yang tidak diketahui jujuknya dengan corak mineral yang telah diketahui (Mohd Raihan & Ramli, 1990). Maka, kaedah yang lebih efektif dan praktikal adalah menggunakan peralatan pembelauan sinar-X (XRD).

Mengikut Mitchell (1993), penghantaran dan imbasan dalam mikroskop elektron digunakan untuk mengenalpasti mineral lempung dalam sampel tanah, tetapi proses ini tidak mudah dan/atau tidak dilakukan secara kuantitatif. Mikroskop pengimbas elektron (SEM) merupakan mikroskop yang menggunakan elektron untuk membentuk imej.

Elektron dalaman boleh diaktifkan melalui panjang gelombang yang dicirikan oleh sinar-X dan sinar-X terpendarflor. Kelebihan peralatan spektrofotometer serapan atom (AAS) dalam pengujian mendapatkan kepekatan kation, termasuklah kebolehan menganalisis berbilang unsur, kejituan yang tinggi dan kos rendah bagi setiap penentuan. Kelemahannya pula terletak pada harga peralatan yang tinggi, had pengesanan sekitar 50 bpj dan tidak mencukupi bagi kebanyakan unsur yang diselidiki dalam penjelajahan mineral. Bagaimanapun, hampir keseluruhan unsur yang mempunyai berat atom yang lebih daripada Mg dapat dikesan, pada paras yang lebih rendah daripada kebolehan peralatan seperti Spektrofotometer Emisi (Wan Fuad dan Tan, 1997, dan Wan Fuad dan Alias, 1989).

Pada peralatan XRF dan XRD, ia mempunyai tiub sinar-X sebagai sumber menguja sinaran. Walaubagaimanapun, oleh sebab sinar γ dan sinar-X didapati sama, maka sumber sinaran yang mengeluarkan sinar γ boleh juga digunakan untuk menguja sinaran pendarflor.

2.12 Mikrofabrik dan Mikrostruktur

Dalam kajian Mitchell (1993), beliau menyatakan bahawa walaupun tanah diuraikan oleh diskret zarah tanah dan kumpulan zarah, jisim tanah biasanya digunakan sebagai tujuan menganalisa dan merekabentuk kerja-kerja kejuruteraan awam. Selain itu, nilai ciri-ciri kejuruteraan seperti kekuatan, kebolehtelapan dan

kebolehmampatan ditentukan secara terus dengan saiz dan bentuk zarah-zarah, penyusunannya dan daya antaranya. Untuk mengetahui ciri-ciri ini, pengetahuan terhadap faktor-faktor kekuatan, kebolehtelapan dan kebolehmampatan amat diperlukan.

Pengetahuan asas bagi struktur dan fabrik tanah adalah kunci dalam memahami kelakuan mekanikal tanah. Menurut Hansbo (1994), anggapan terhadap struktur dan fabrik tanah dalam keadaan asal dan semulajadi wujud dengan persekitaran yang berbeza-beza.

2.13.1 Struktur dan Fabrik Tanah

Struktur tanah menggambarkan pengaturan butiran-butiran yang membentuk bahan, manakala fabrik pula menggambarkan haluan ruang tiga paksi butiran (Beavis, 1982). Mohd Raihan dan Ramli (1990) pula menyatakan struktur sesuatu tanah ialah penyusunan geometri zarah atau mineral zarah dan juga daya yang bertindak di antara zarah-zarah, manakala fabrik pula hanya merujuk kepada geometri penyusunan zarah. Struktur tanah boleh dibezakan ke dalam tiga kelas iaitu: (a) Struktur tanah tanpa jeleketan contohnya pasir, (b) Struktur tanah jeleket contohnya lempung, dan (c) Struktur tanah komposit contohnya lempung berpasir. Dalam tanah berbutir atau tak jeleket, daya antara zarah amat kecil, jadi fabrik dan struktur bagi kelikir, pasir dan sebahagian kelodak adalah sama. Akan tetapi, daya antara zarah agak besar dalam tanah jeleket berzarah halus. Oleh itu, daya dan fabrik tanah mesti dipertimbangkan sebagai struktur tanah. Struktur banyak memberi kesan atau mengawal kelakuan kejuruteraan tanah. Semua struktur lempung yang terdapat di sekitaran dan sebagainya adalah hasil daripada beberapa gabungan iaitu sekitaran geologi semasa pemendapan, sejarah geologi dan tegasan kejuruteraan, dan kelakuan mineral lempung (Mohd Raihan dan Ramli, 1990, Hansbo, 1994, dan Yong, 1975).

Penghuraian lengkap struktur sesuatu tanah jeleket berzarah halus memerlukan pengetahuan daya antara zarah dan juga penyusunan geometri (fabrik) zarah. Maka, Collins dan McGown (1974) dan juga Osipov dan Sokilov (1978) telah

membuat satu kajian yang berdasarkan struktur tanah lempung dengan menggunakan mikroskop pengimbas elektron (SEM). Pencirian yang mana diperolehi dapat diperhatikan pada Rajah 2.30 dan 2.31.

Collins dan McGown (1974) dan Osipov dan Sokilov (1978) menyatakan bahawa dalam tanah khususnya tanah lempung, terdiri daripada fabrik dan struktur tanah yang masing-masing dinyatakan sebagai peringkat asas dan peringkat himpunan. Peringkat asas (fabrik tanah) dikatakan sebagai hubungan intra dan asas liang-liang tanah. Manakala pada peringkat himpunan (struktur tanah), ia adalah lebih kepada hubungan antara sejumlah susunan asas zarah-zarah tanah.

Pada peringkat asas, zarah-zarah tanah biasanya terdiri daripada fabrik lempung dan fabrik berbutir. Partikel-partikel asas bagi lempung yang mempunyai bentuk emping, plat, berbuku, bertiub mahupun bergugus adalah disusun secara rawak atau lamina, selari atau domain, ataupun bergugus atau gelora. Mineral-mineral lempung yang lazim terdapat dalam tanah adalah seperti mineral kaolinit yang berfabrik lempung empingan dan mineral haloisit yang berfabrik lempung bertiub. Manakala, pada peringkat asas juga, bentuk butiran adalah mempunyai taburan seperti hubungan individu (*clean contacts*) dan hubungan terselaput (*clothed contacts*) yang lazimnya zarah-zarah tanah berbiji kelodak atau berpasir. Mineral kuarza dikatakan mineral lazim yang terdapat dalam tanah yang mempunyai bentuk butiran. Dalam tanah lempung juga, struktur tanah adalah terdiri daripada matriks lempung atau pseuglobul, atau matriks berbutir atau rangka, pengagregatan dan penghubung.

2.13.2 Fabrik dan Struktur Tanah Jeleket

Tipikal fotomikrograf elektron yang dikaji oleh Yong (1975) ditunjukkan dalam Rajah 2.32 dan 2.33 yang mana ia menunjukkan ciri-ciri tertib pertama dan

kedua fabrik serta kedudukan liang makro dan mikro dalam zarah-zarah tanah. Dalam kajian tersebut, beliau juga menyatakan bahawa zarah lempung tunggal mudah untuk dikaji yang mana zarah lempung akan membentuk kumpulan dan unit kumpulan. Geometri penyusunan bagi satu unit kumpulan ialah unit fabrik yang menjadikan bentuk tertib pertama. Geometri penyusunan bagi zarah tunggal di antara setiap unit fabrik akan menyebabkan bentuk tertib kedua dalam zarah. Selain itu, jumlah penyusunan bagi semua unit zarah, unit fabrik dan lompong akan menjadikan jumlah fabrik dalam tanah.

Yong (1975) telah menyifatkan bahawa: (a) Unit Fabrik Isotropi adalah susunan secara rawak atau terflokulasi oleh fabrik dengan terselerak (secara semi-terhala) atau penyusunan terhala oleh zarah di antara unit-unit fabrik. Jumlah ke semua sistem, akan berkelakuan sebagai satu sistem isotropik, seperti kelakuan bentuk gembur ialah isotropik, (b) Unit Fabrik Anisotropi ialah susunan terhala atau terselerak oleh unit-unit fabrik secara penyusunan rawak atau terflokulasi di antara unit fabrik yang mana kelakuan ini dikatakan sebagai anisotropi, dan (c) Jumlah Fabrik Anisotropi pula penyusunan terhala oleh zarah di antara unit fabrik bersama dengan penyusunan terhala oleh unit fabrik yang dikatakan sebagai jumlah keseluruhan anisotropik.

Kajian dari Mohd Raihan dan Ramli (1990) menyatakan yang mana makrostruktur termasuk stratigrafi endapan tanah berzarah halus mempunyai pengaruh penting ke atas kelakuan tanah dengan makrofabrik dalam amalan kejuruteraan. Sambungan, rekahan, pelipat pasir dan kelodak, lubang urat, liang makro dan mikro (Rajah 2.33), dan peralisan selalunya mengawal kelakuan kejuruteraan seluruh jisim tanah. Tetapi, kekuatan jisim tanah adalah kurang di sepanjang retakan atau rekahan daripada bahan yang pejal. Berbeza dengan mikrostruktur pula, ia lebih penting daripada makrostruktur dalam pandangan kejuruteraan. Mikrostruktur lempung boleh menggambarkan sejarah geologi dan persekitaran endapan.

2.13.3 Pengecaman Mikrofabrik dan Mikrostruktur dalam Tanah

Kajian Mitchell (1993) menyatakan bahawa pada teknik-teknik yang sediada, hanya mikroskop elektron boleh mendedahkan zarah-zarah lempung dan penyusunannya secara terus. Had praktikal peleraian peralatan oleh mikroskop penghantaran elektron (TEM) adalah kurang daripada 10 Å dan satah atom boleh dikenalpasti oleh TEM ini. Had praktikal bagi mikroskop pengimbas elektron (SEM) pula adalah 100 Å, walaubagaimanapun, pembesaran yang kecil adalah lebih efektif bagi melerai zarah-zarah lempung dan lain bendasing tanah yang kecil. Kebaikan utama bagi peralatan SEM selain daripada yang dinyatakan pada Bahagian 2.12.2, adalah daya penembusan elektron iaitu 300 kali lebih baik daripada mikroskop optik dan TEM, dan julat pembesaran imej boleh mencapai 20 000 kali dan berupaya untuk membuat kajian ke atas permukaan sampel.

Bagi kedua-dua mikroskop iaitu TEM dan SEM, sampel yang kering digunakan kerana sampel lembap tidak mampu untuk ditembusi oleh elektron secara terus. Pada kebiasaannya, kajian yang menggunakan SEM ianya perlu disalut permukaan sampel sebagaimana kajian yang sama untuk mineralogi dengan menggunakan peralatan vakum penyejat (*sputter coater*). Menurut Mitchell (1993), tujuan salutan adalah untuk menghasilkan satu lapisan filem pengaliran bagi mengelakkan pengecasan permukaan dan kehilangan untuk tujuan pembesaran sampel kajian. Lapisan filem pengaliran yang dikenakan adalah lapisan emas dengan satu lapisan yang sangat nipis berukuran 20 nm hingga 30 nm dalam vakum penyejat sebagaimana yang dicadangkan oleh Mitchell (1993) dan Gillott (1976). Walaubagaimanapun, penyediaan dan kajian berdasarkan penggunaan mikroskop pengimbas elektron telah bermula sejak era 70-an dan 80-an yang mana pengkaji seperti Tovey (1973 dan 1986) dan Tovey dan Wong (1973 dan 1975) telah mempelopornya.

2.14 Kimia Tanah

Kajian komposisi kimia tanah secara mendalam bagi tujuan kejuruteraan adalah amat sedikit, namun kandungan bahan-bahan organik, sulfat, karbonat dan klorida adalah penting kerana ia mempengaruhi sifat-sifat fizikal tanah. Nilai pH (berasid atau beralkali) tanah juga penting kerana ia mempengaruhi jenis-jenis pembentukan mineral-mineral tanah (Head, 1992).

Di Malaysia yang mengalami taburan hujan tahunan yang tinggi, taburan tanah bakinya sebanyak 75 peratus akan menyebabkan keadaan tanah yang bermasalah. Antara masalah-masalah kejuruteraan tanah yang wujud di Malaysia, sebagaimana yang dikaji oleh Othman pada tahun 1982 adalah tanah gambut dan lempung. Kajian oleh Othman (1982) yang menyatakan bahawa tanah asid sulfat ialah tanah yang mengandungi ≥ 0.1 peratus kandungan sulfat larut air dan nilai pHnya ≤ 3.5 . pH yang rendah disebabkan oleh kehadiran asid yang terjadi oleh pengoksidaan pirit (FeS_2) apabila tanah berair yang mengandungi pirit disalurkan. Pada nilai pH yang begitu rendah, Al dan Fe akan melarut sehingga ke peringkat toksik.

Berbalik kepada tanah baki di Malaysia, granit yang mengandungi mineral kuarza dan feldspar (pada batuan induk) serta sedikit mineral mika adalah kurang penting berbanding jenis-jenis mineral yang terkandung dalam tanah baki bergred VI. Dalam tanah, ia juga mengandungi unsur-unsur silika, alumina dan kapur yang mana unsur-unsur inilah yang mengelaskan dasar tanah granit ini, sebagaimana yang dinyatakan oleh Hawkins dan Baxter (1990). Mereka menyatakan bahawa peratusan yang tinggi bagi kandungan silika dalam tanah baki granit iaitu masing-masing 69 % hingga 73 % dan 64 % hingga 76 %. Tovey (1986) menyatakan, selain daripada kajian dan penyelidikan tentang mineralogi dan mikrofabrik tanah, ujikaji berkaitan komposisi kimia tanah kurang diberi pendedahan dalam penyiasatan tanah secara khusus. Maka, analisis komposisi kimia tanah juga mampu memberikan maklumat tentang kelakuan zarah-zarah tanah. Komposisi dan ciri-ciri kimia sepatutnya ditentukan dalam membangunkan data-data berkaitan tanah baki granit seperti keasidan dan kealkalian (nilai pH), kandungan sulfat, klorida, organik dan juga

karbonat. Kajian-kajian yang dijalankan berdasarkan nilai pH oleh Little (1970) dan Fookes (1986) mendapati bahawa tanah baki granit adalah berasid.

2.14.1 Keasidan Tanah

Tanah menjadi asid apabila sebahagian besar daripada kebolehpaya pertukaran kation (KPK)nya terdiri daripada Al^{3+} dan H^+ . Sebagaimana kajian oleh Othman (1982), keadaan ini adalah disebabkan oleh proses larutlesap. Apabila air bergerak melalui tanah, sebahagian daripada ion H^+ menggantikan ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terjerap pada permukaan lempung. Kepekatan tanah bertambah dengan bertambahnya larutlesap, yang mana ia akan menyebabkan tanah baki granit berkeadaan berasid. Di dalam keadaan ini juga, aluminium wujud sebagai ion di dalam larutan dan mengambil bahagian dalam pertukaran kation. Namun begitu, dalam keadaan tanah yang tidak berair, lembap ataupun kering, satu atau lebih molekul air dalam zarah-zarah tanah akan mengalami pengionan lalu membekalkan ion H^+ dan seterusnya akan menambahkan lagi keasidan tanah.

Othman (1982) menyatakan bahawa keasidan tanah yang terdapat di kawasan bertropika adalah disebabkan oleh titisan hujan yang lebat yang mengakibatkan kebanyakan daripada garam di dalam tanah itu akan melarut resap. Kehilangan bes itu akan digantikan dengan ion H^+ dan Al^{3+} . Kehadiran ion-ion ini di tempat pertukaran kation inilah yang bertanggungjawab terhadap keasidan tanah. Selain daripada taburan hujan yang tinggi, proses larut resap juga memainkan peranan yang penting dalam penambahan keasidan tanah. Tanah akan berasid dengan pertambahan larut resap yang mana Al^{3+} dan H^+ secara perlahan-lahan akan menggantikan tempat bes seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Kehadiran ion-ion aluminium dan hidrogen yang tinggi ini akan menjadikan sesuatu tanah itu berasid.

2.14.2 Pertukaran Ion

Dalam kajian yang dijalankan oleh Othman (1982), zarah tanah mempunyai cas samada bercas positif dan ada juga yang bercas negatif. Semua filosilikat bercas negatif. Mineral yang bercas positif ialah gipsit dan goetit. Untuk mencapai keseimbangan elektrik mineral-mineral yang mengandungi jejaring cas itu ia akan menjerap ion. Kebanyakan daripada kation yang dijerap oleh filosilikat akan bertukar ganti. Kation-kation yang terjerap di permukaan lempung mengambil bahagian dalam proses pertukaran kation. Pertukaran ion adalah bersifat seperti stoikiometri, berbalik, dikuasai oleh proses resapan, dan kadangkala ia mampu untuk memilih jenis-jenis ion untuk mengalami pertukaran dengannya.

2.14.3 Kation Tukar Ganti

Proses penggantian isomorfus di dalam filosilikat mengeluarkan cas negatif. Untuk mencapai keseimbangan elektrik, kation dijerap oleh mineral lempung. Kebanyakan daripada kation yang terjerap itu boleh ditukar ganti. Sebahagian darinya terikat kuat oleh mineral itu mungkin kerana saiznya berpadanan dengan jarak lapisan mineral seperti yang berlaku ke atas K^+ dan NH_4^+ yang terjerap di dalam ilit. Kation yang sering mengambil bahagian dalam proses tukar ganti ialah Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} dan H^+ yang mana kuantitinya bergantung kepada jenis tanah. Untuk tanah yang mengandungi pH yang tinggi, nilai Ca^{2+} dan Mg^{2+} akan menguasai proses pertukaran. Manakala tanah yang terluluhawa yang mengalami larut resap yang intensif pula akan dikuasai oleh Al^{3+} dan H^+ (Brady, 1974). Pada nilai pH yang tinggi, unsur Al akan mengalami pemendakan sebagai $Al(OH)_3$ ataupun $Al(OH)_4^-$.

Dalam kajian yang dijalankan oleh Carter (1993), Baize (1993) dan Tan (1992), mereka menyatakan bahawa nisbah setiap kation yang tersimpan dalam tanah bergantung kepada kepekatan. Selain itu, sesuatu zarah-zarah tanah akan memegang dua jenis kation sahaja iaitu K^+ dan Na^+ , maka nisbah jumlah tersimpan bergantung kepada nisbah aktiviti. Tetapi, jika satu daripada kation itu

monovalen dan satu lagi divalen iaitu K^+ dan Ca^{2+} , nisbah jumlah tersimpan oleh tanah itu adalah bergantung kepada nisbah aktiviti kation monovalen kepada punca ganda dua kation divalen dalam larutan. Inilah yang dikatakan hukum nisbah pertukaran ion.

2.14.4 Kesan Pertukaran Ion dalam Geoteknik dan Geologi

Dalam bidang geologi, contoh pertukaran ion adalah jelas melalui proses luluhawa (Radzali dan Tuan Besar, 1992). Proses luluhawa yang melibatkan pembebasan asid dan alkali dalam zarah-zarah tanah, samada dikekalkan di dalam bahan sekunder atau tidak, ianya bergantung kepada tindakbalas pertukaran ion-ion. Jenis hasil luluhawa bergantung kepada nilai asid dan alkali yang terdapat dalam batuan asal. Dengan ini, proses luluhawa bukan hanya sekadar penguraian mineral primer sahaja tetapi juga disusuli oleh proses larutresapan.

Di tapak binaan, kadangkala jurutera binaan secara tidak langsung telah menyebabkan tindakbalas pertukaran ion berlaku, samada dengan mengubah aras air, perletakan konkrit dan lain-lain lagi, atau dengan perubahan yang tidak dijangkakan dalam ciri-ciri tanah itu. Jika perubahan dalam sifat plastik, pemadatan, dan pengecutan yang terhasil daripada tindakbalas pertukaran sedemikian tidak dikaji terlebih dahulu, kesannya mengakibatkan berlakunya kejadian ketidakstabilan struktur bangunan, jalan raya dan sebagainya.

2.14.5 Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)

Kebolehpaya pertukaran kation (KPK) tanah ialah ukuran jaringan cas negatif. KPK boleh ditakrifkan sebagai jumlah kation tukar ganti di dalam 100 g tanah (meq/100 g tanah). KPK tanah dapat ditentukan dengan pelbagai kaedah, biasanya dengan kaedah melarutresapkan tanah dengan larutan 1 M NH_4OAc pada pH 7.0. KPK tanah boleh juga ditentukan dengan kaedah lain sepertimana yang

dicadangkan oleh Carter (1993), iaitu penentuan KPK dengan kaedah-kaedah yang terdapat sekarang belum lagi memuaskan untuk tanah yang mengandungi kedua-dua cas yang bergantung dengan pH. Ini adalah disebabkan oleh sisihan lazimnya tinggi dan perulangan yang rendah. Nilai KPK yang ditentukan dengan larut resap oleh kation monovalen (K^+ , Na^+ , NH_4^+) adalah lebih rendah daripada yang ditentukan dengan kation divalen (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+}) yang mana kemungkinannya disebabkan oleh pengikatan oleh silikat (Tan, 1992).

Nilai KPK tanah sebenarnya bergantung kepada komposisi tanah dan ketepatan kaedah penentuan. Mengikut kajian yang dijalankan oleh Mitchell (1993) dan Radzali dan Tuan Besar (1992), mineral oksida akan lebih mempengaruhi nilai KPK sesuatu tanah itu daripada kuantiti setiap oksida itu. Jenis filosilikat yang menentukan nilai KPK tanah, iaitu montmorilonit dan vermikulit mempunyai nilai KPK yang sangat tinggi maka dengan ini tanah yang mengandungi mineral jenis ini akan juga mempunyai nilai KPK yang tinggi. Tetapi, tanah yang mempunyai kandungan mineral kaolinit yang dominan, seperti tanah baki granit akan mempunyai nilai KPK yang rendah (Jadual 2.15).

Bagi tanah terluluhawa tropika seperti di Malaysia, ianya mempunyai cas tetap dan casnya bergantung kepada keadaan pH. Goetit dan gibsit meliputi mineral silikat bercas positif. Tetapi, pengikatan tidak berlaku ke atas Ca^{2+} , Mg^{2+} dan Ba^{2+} kerana saiznya terlalu besar untuk memasuki lapisan silikat.

2.15 Kajian Kimia dan Mineralogi terhadap Tanah Baki

Kajian terhadap tanah baki yang mana batuan induknya adalah granit membolehkan pencirian kimia dan fizikal bahan bumi dilaksanakan. Tidak banyak kajian yang dijalankan terhadap mineralogi, mikrostruktur dan komposisi kimia tanah baki yang berasaskan granit. Ringkasan pengkaji tanah baki di kawasan tropika yang melibatkan negara Hong Kong, Thailand, Singapura, Malaysia dan Mesir dibincangkan dalam aspek-aspek mineralogi, mikrostruktur dan komposisi kimia. Jadual 2.16 menunjukkan nama-nama pengkaji serta lokasi pensampelan tanah yang

diambil bagi tujuan ujikaji makmal yang melibatkan kajian dan penyelidikan berkaitan mineralogi, mikrostruktur dan komposisi kimia pada tanah baki berasaskan granit.

2.15.1 Kajian Kimia Tanah

Menurut kajian yang dijalankan oleh Mohd Raihan *et al.* (1997), mereka menyatakan bahawa memahami kelakuan asasi tanah adalah penting dalam usaha menggunakannya sebagai bahan kejuruteraan. Kajian yang dijalankan oleh pengkaji-pengkaji seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.16 adalah nilai pH, kebolehpaya pertukaran kation (KPK), dan kepekatan kation dan kepekatan anion. Dalam bidang kejuruteraan geosekitaran, hasil kajian tersebut boleh digunakan dalam menyelesaikan masalah yang berkait dengan kimia dan pencemaran tanah. Di Malaysia, luluhawa kimia memainkan peranan penting dalam tanah baki. Proses larutresap adalah aktif dalam iklim tropika dengan tanah yang mengandungi kandungan ferum dan aluminium yang tinggi. Kepekatan yang tinggi ini menyebabkan tanah bercas positif.

Perincian daripada Jadual 2.17, menggambarkan perbandingan nilai komposisi kimia antara kajian yang telah dijalankan oleh pengkaji yang lepas adalah tanah baki yang berasaskan granit yang mana menunjukkan tanah baki adalah berasid. Julat bagi nilai pH adalah 3.85 hingga 7.80. Didapati bahawa, kajian yang dijalankan oleh Za-Chieh dan Mirza (1969) dan Tan (1996) yang mana masing-masing telah mencatatkan nilai pH yang tinggi (asid lemah) dengan pengkaji yang lain iaitu 3.85 dan 7.80. Menurut Tan (1996), keasidan tanah dalam liang-liang bendalir zarah tanah, mempunyai hubungan dengan kehadiran Fe_2O_3 dalam tanah baki granit. Oleh itu, apabila kepekatan Fe_2O_3 meningkat, secara tidak langsung ia mempengaruhi kepekatan asid-asid organik dan juga sulfit (contohnya pirit) dalam granit. Maka, ini menyebabkan nilai pH akan menjadi tinggi ($\text{pH} > 7.0$). Selain itu juga, Za-Chieh dan Mirza (1969) menyatakan nilai pH adalah bergantung kepada kepekatan ion-ion OH^- . Apabila nilai kepekatan OH^- meningkat, maka tanah akan menjadi berasid.

Pada nilai pH yang rendah, keadaan ini akan menyebabkan struktur dalam mineral-mineral kaolinit dan kuarza musnah. Bagi nilai KPK pula, ia adalah satu pengukuran yang mengukur kuantiti kebolehtukaran kation di antara lapisan tanah, pada permukaan dan hujung kekisi zarah. Bagi tanah baki yang bercas positif, nilai KPK akan menjadi kurang perhatian yang mana ion-ion utama akan hanya tertarik kepada permukaan zarah tanah yang bercas negatif. Daripada Jadual 2.17, nilai yang didapati menunjukkan tanah baki granit mempunyai keupayaan untuk berlakunya pertukaran antara kation yang rendah iaitu 4.62 meq/100 g hingga 15.8 meq/100 g. Ini menunjukkan bahawa, nilai KPK yang rendah ini disebabkan oleh kehadiran mineral-mineral lempung yang hadir dalam tanah dengan kuantiti yang tinggi seperti kaolinit dan ilit, serta haloisit. Menurut Mitchell (1993), mineral kaolinit dan ilit, hadir dalam tanah dengan nilai KPK yang rendah iaitu masing-masing dengan nilai 3 meq/100 g hingga 15 meq/100 g dan 10 meq/100 g hingga 40 meq/100 g. Manakala, bagi mineral haloisit, nilai KPKnya berjalat 5 meq/100 g hingga 10 meq/100 g.

Bagi pengujian terhadap kepekatan kation seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} , hanya pengkaji seperti Tan (1996) sahaja yang telah menjalankan ujikaji. Daripada kajian yang dijalankan, ia menunjukkan turutan relatif daripada kepekatan tertinggi kepada kepekatan yang terendah iaitu $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Menurut Tan (1996), nilai-nilai kepekatan kation yang rendah disebabkan oleh keupayaan zarah-zarah tanah untuk mengalami penyerakan dengan kation-kation adalah rendah. Maka, apabila tindakbalas antara kation-kation rendah, ia akan memberikan nilai kepekatan yang rendah. Selain kepekatan kation, Tan (1996) juga mendapati nilai kepekatan anion seperti ion SO_4^{2-} dan Cl^- adalah rendah. Beliau juga mendapati bahawa nilai-nilai kepekatan anion yang rendah disebabkan oleh tanah baki granit adalah bersaliran bebas dan mempunyai nilai kebolehtelapan, k tanah yang tinggi. Apabila nilai kebolehtelapan tinggi, ia akan melarutkan anion-anion dalam zarah-zarah tanah dengan cepat. Oleh itu, nilai-nilai kepekatan menjadi rendah dalam tanah.

Selain kajian-kajian melibatkan nilai pH, KPK dan juga kepekatan kation dan anion, pengkaji-pengkaji lepas juga telah menjalankan kajian yang berkaitan dengan unsur-unsur oksida. Jadual 2.18 menunjukkan nilai-nilai unsur oksida yang telah dijalankan dan melibatkan unsur-unsur yang dominan dalam tanah baki. Daripada

nilai-nilai itu, dapat disimpulkan yang mana turutan relatif unsur-unsur yang tertinggi hingga terendah adalah $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{CaO}$.

Unsur SiO_2 mencatatkan julat 50.5 % hingga 72 %. Menurut Mitchell (1993), peratusan unsur SiO_2 yang tinggi disebabkan oleh kehadiran mineral kuarza yang tinggi dalam tanah. Manakala bagi unsur Al_2O_3 dan Fe_2O_3 masing-masing mencatatkan julat 12 % hingga 25.5 % dan 0.64 % hingga 14.9 % dalam sampel tanah baki granit. Unsur-unsur Fe_2O_3 dan Al_2O_3 yang tinggi disebabkan oleh dominansi mineral-mineral lempung dalam zarah-zarah tanah. Unsur Al_2O_3 yang tinggi disebabkan oleh kehadiran mineral kaolinit dalam tanah.

2.15.2 Kajian Mineralogi dan Mikrostruktur Tanah

Keputusan-keputusan berdasarkan ujikaji menentukan kehadiran mineral dan keadaan mikrostruktur dan mikrofabrik tanah, masing-masing ditunjukkan dalam Jadual 2.19 dan 2.20. Pada Jadual 2.19, ia menunjukkan mineral kuarza dan mineral kaolinit hadir sebagai mineral major dalam tanah baki berasaskan granit. Namun, pengkaji seperti West dan Dumbleton (1970) bagi sampel di Johor, Malaysia dan Balasubramaniam *et al.* (1985) bagi sampel di Mae Sarieng, Thailand masing-masing mencatatkan mineral kaolinit adalah mineral minor dan mineral yang tidak dapat dikesan dalam sampel tanah. Menurut West dan Dumbleton (1970), saiz zarah tanah daripada kajian yang dijalankan mendapati saiz lempung adalah minor. Oleh itu, ini mempengaruhi keputusan yang mana kaolinit hanya hadir sebagai mineral minor bagi sampel di Johor, Malaysia.

Pada Jadual 2.19, semua kajian lepas yang dijalankan mendapati turutan relatif taburan mineral-mineral dalam sampel tanah baki berasaskan granit adalah Kuarza dan Kaolinit > Ilit > Montmorilonit, Gibsit dan Goetit > Hematit > Vermikulit, Muskovit dan Haloisit > Ortoklas.

Namun, Irfan (1996) menyatakan bahawa tanah baki granit di Hong Kong tidak dipengaruhi oleh mineralogi secara ekstrim walaupun negara ini terletak di kawasan beriklim tropika. Ini adalah disebabkan oleh:-

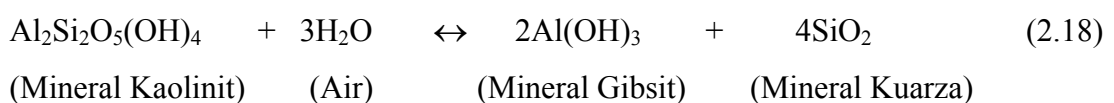
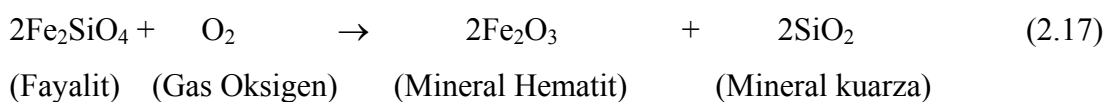
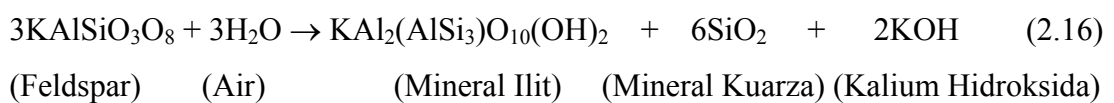
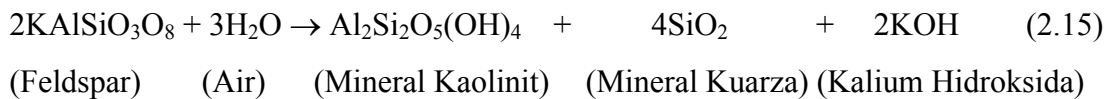
- (i) Kandungan mineral seperti kaolinit dan mika adalah kurang daripada 30 % daripada keseluruhan berat tanah.
- (ii) Mineral kuarza yang tidak mengalami proses luluhawa yang sepenuhnya.
- (iii) Sebahagian daripada sampel ujikaji terdiri daripada mineral feldspar.

Irfan (1996) juga menyatakan bahawa mineral haloisit merupakan mineral lempung major yang hadir dalam tanah baki di Hong Kong berbeza dengan Aung *et al.* (2000) mendapati haloisit merupakan mineral minor. Irfan (1996) dan Aung *et al.* (2000) mendapati bahawa jumlah mineral yang hadir dalam tanah baki secara major ataupun minor adalah disebabkan oleh perubahan luluhawa sebelum mencapai 100 % luluhawa.

Kajian daripada Balasubramaniam *et al.* (1985), mendapati pada Rajah 2.34, komposisi kimia mineral dalam batuan segar di Mae Sarieng adalah terdiri daripada kuarza, ortoklas-pertit, plagioklas, biotit dan magnetit. Apabila proses luluhawa meningkat, saiz zarah-zarah telah berkurangan dan isipadu zarah-zarah tanah tersebut mengalami pertambahan. Namun, kuarza dikatakan tidak mengalami sebarang perubahan (Deer *et al.*, 1966). Berdasarkan kajian yang telah dijalankan oleh Balasubramaniam *et al.*, (1985):-

- (i) Mineral ortoklas-pertit, plagioklas dan sebahagian daripada biotit (mengandungi bahan yang mudah meruap) bertukar kepada mineral serisit dan ilit.
- (ii) Sebahagian mineral biotit pula akan bertukar kepada mineral klorit dan sebahagian daripada mineral klorit ini pula akan bertukar kepada mineral montmorilonit, geotit dan hematit.
- (iii) Pada pertengahan proses luluhawa, mineral serisit, ilit dan montmorilonit akan bertukar kepada mineral ortoklas-pertit akan bertukar kepada mineral kaolinit.

Loughnan (1969) juga menyatakan keadaan yang sama yang mana pembentukan mineral pada peringkat akhir adalah mineral kaolinit. Selain itu, beliau menyatakan mineral kuarza adalah mineral major dalam tanah baki disebabkan oleh bagi setiap pembentukan mineral-mineral yang baru, tindakbalas akan juga menghasilkan mineral kuarza yang sama. Ini dapat dibuktikan dengan persamaan-persamaan tindakbalas di bawah:-



Oleh itu, mineral kuarza dikatakan tidak akan hilang dan sentiasa hadir pada keseluruhan gred luluhawa. Tetapi, dengan kehadiran mineral kuarza secara mikrogram tidak dapat dikesan dengan menggunakan Kaedah Keratan Nipis sahaja (Mitchell, 1993).

Bagi kajian berkaitan mikrostruktur dan mikrofabrik, Jadual 2.20 menunjukkan keputusan ujikaji yang telah dijalankan oleh Aung *et al.* (2000) dan Cook *et al.* (1996) yang mana peralatan mikroskop pengimbas elektron (SEM) telah digunakan dalam pengujian makmal. Ini menunjukkan kurang kajian yang telah dijalankan oleh pengkaji-pengkaji lepas berkaitan struktur dan fabrik tanah baki yang berasaskan granit. Dalam analisis struktur dan fabrik yang telah dijalankan, Aung *et al.* (2000) telah mendapati bahawa fabrik yang berbentuk empingan (mineral kaolinit) telah hadir bagi keseluruhan kedalaman tanah, manakala tiada lempung fabrik yang berbentuk tiub (mineral haloisit) pada kedalaman 4 m hingga 5 m.

Daripada keputusan SEM, sampel pada kedalaman 8.5 m hingga 9.5 m (bahagian atas) adalah terdiri daripada struktur padat manakala sampel dengan kedalaman 20.5 m hingga 21.5 m (bahagian bawah) adalah terdiri daripada struktur longgar.

Manakala, Cook *et al.* (2000) pula mendapati fabrik tanah adalah terdiri daripada ped yang lemah dan berblok-blok. Ini adalah disebabkan oleh kehadiran mineral kuarza sebagai mineral major dalam kajian yang telah dijalankan. Mitchell (1993) menyatakan bahawa kejadian pada kedalaman atas yang mempunyai struktur padat dan kedalaman ke bawah mempunyai struktur longgar adalah disebabkan oleh proses dwi-resap dan flokulasi serta deflokulasi.

Menurut Aung, *et al.* (2000), sampel bahagian atas melibatkan peringkat asas yang didominasi oleh lempung berfabrik gugusan dan berstruktur lempung matriks rangkaian kaolinit-montmorilonit, manakala pada bahagian bawah adalah hubungan fabrik berselaput butiran atau granular, dan berstruktur lempung matriks butiran. Pada kedalaman ini, zarah berfabrik empingan kaolinit terbentuk pada peringkat inter zarah. Selain itu, kajian oleh Cook, *et al.* (1996), beliau juga mendapati fabrik tanah di Semenanjung Malaysia adalah berkekuatan yang sangat berjeleket.

2.16 Korelasi-korelasi Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Baki

Bagi mempercepatkan proses rekabentuk, para jurutera boleh menggunakan korelasi antara ciri-ciri kejuruteraan yang telah diwujudkan oleh pengkaji lepas. Sehingga kini tidak banyak korelasi yang diterbitkan bagi tanah baki. Kolerasi yang telah diwujudkan adalah kolerasi kandungan lempung dengan ciri-ciri keplastikan, kolerasi parameter pengukuhan dengan ciri-ciri indeks, kolerasi kandungan lembapan dengan pekali kebolehtelapan dan kolerasi kekuatan ricih dengan ciri-ciri indeks.

2.16.1 Korelasi Kandungan Lempung dengan Ciri-ciri Keplastikan Tanah Baki

Perkaitan di antara kandungan lempung dengan ciri-ciri keplastikan telah banyak dilaporkan bagi kawasan tanah beriklim sederhana. Sebagai contoh, Road Research Laboratory (1942) telah membuat satu hubungan kait antara kandungan lempung dengan ciri-ciri indeks tanah seperti dalam Rajah 2.35. Rajah tersebut menunjukkan had cecair, had plastik dan kandungan lembapan semulajadi meningkat dengan pertambahan kandungan lempung dalam tanah. Kajian oleh Gidigsu (1976) juga menunjukkan bahawa kandungan lempung mempengaruhi had cecair, had plastik dan kandungan lembapan semulajadi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.36 dan Rajah 2.37. Semakin tinggi nilai kandungan lempung, semakin tinggi nilai had cecair, had plastik, kandungan lembapan semula jadi dan indeks keplastikan tanah baki granit.

2.16.2 Korelasi Parameter Pengukuhan dengan Ciri-ciri Indeks

Tidak banyak pengkaji yang membuat korelasi parameter pengukuhan dengan ciri-ciri indeks tanah. Vaughan (1988) mengatakan bahawa, indeks mampatan bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Azzouz, *et al.* (1977) dan Poh, *et al.* (1985) telah membuat beberapa korelasi. Azzouz, *et al.* (1977) telah membuat korelasi di antara indeks mampatan dengan had cecair seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.38 yang mana korelasi tersebut membentuk satu persamaan seperti berikut:

$$C_c = 0.007 (w_L - 70) \quad (2.19)$$

di mana,

C_c = indeks mampatan

w_L = had cecair

Winn, *et al.* (2001) juga membuat korelasi tersebut tetapi tiada persamaan dapat diwujudkan walaupun secara umum keputusannya menghampiri apa yang diperoleh oleh Azzouz, *et al.* (1977) seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 2.38.

Azzouz, *et al.* (1977) juga telah menerbitkan satu persamaan di antara indeks mampatan dengan nisbah lompang asal tanah iaitu:

$$C_c = 0.30 (e_o - 0.27) \quad (2.20)$$

di mana,

$$\begin{aligned} C_c &= \text{indeks mampatan} \\ e_o &= \text{nisbah lompang asal} \end{aligned}$$

Selain Azzouz, *et al.* (1977), Poh, *et al.* (1985) juga telah membuat korelasi antara indeks mampatan dengan nisbah lompang asal tetapi dengan persamaan:

$$C_c = 0.40 (e_o - 0.19) \quad (2.21)$$

Winn, *et al.* (2001) telah membuat perbandingan dengan keputusan-keputusan yang diperoleh oleh Azzouz, *et al.* (1977) dan Poh, *et al.* (1985). Didapati data-data terletak di sekitar dua garis persamaan yang diwujudkan oleh Azzouz, *et al.* (1977) dan Poh, *et al.* (1985) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.39. Satu perhubungan di antara indeks mampatan dan nisbah lompang asal juga telah diterbitkan oleh Yong, *et al.* (1985) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.40. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai:

$$C_c = 0.4(e_o - 0.19) \quad (2.22)$$

Yong, *et al.* (1985) juga telah menerbitkan korelasi antara indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.41. Korelasi tersebut membentuk satu persamaan berikut:

$$C_c = 0.0126(w - 7\%). \quad (2.23)$$

di mana,

C_c = indeks mampatan

w = kandungan lembapan semulajadi

Keputusan menunjukkan semakin tinggi kandungan air dalam tanah maka semakin tinggi nilai enapan yang boleh berlaku.

2.16.3 Korelasi Kandungan Lembapan dengan Pekali Kebolehtelapan

Kajian oleh Poh, *et al.* (1985) menunjukkan kolerasi antara kandungan lembapan dengan pekali kebolehtelapan yang diperoleh dari tiga kaedah dapat diwujudkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.42. Walau bagaimanapun keputusan menunjukkan satu julat had atas dan had bawah yang besar yang mana sukar untuk dijadikan panduan kepada para jurutera. Secara umumnya hubungan tersebut menunjukkan bahawa nilai pekali kebolehtelapan tanah baki meningkat dengan pertambahan kandungan lembapan.

2.16.4 Korelasi Kekuatan Ricih dengan Ciri-ciri Indeks

Kajian oleh Tuncer (1988) ke atas tanah baki basalt menunjukkan nilai sudut geseran dalaman meningkat dengan peningkatan saiz liang tanah tetapi kejelekitan tanah semakin berkurang. Peningkatan saiz liang menunjukkan tanah tersebut mengandungi zarah yang berbutir kasar.

Todo & Pauzi (1989) telah membuat korelasi di antara kejelekitan tak bersalir berbanding kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.43. Rajah tersebut menunjukkan bahawa kejelekitan tak bersalir bagi tanah baki di Malaysia adalah di antara 20 kN/m² sehingga 50 kN/m² dan tidak menunjukkan perubahan yang ketara dengan kedalaman. Walau bagaimanapun bagi tanah baki Singapura, secara umumnya didapati kejelekitan bertambah dengan kedalaman. Todo & Pauzi (1989)

juga cuba membuat korelasi antara sudut geseran dengan kandungan lempung, namun tiada korelasi yang dapat diwujudkan.

Winn, *et al.* (2001) yang menjalankan kajian tanah baki granit di Bukit Timah, Singapura telah membuat beberapa korelasi di antara sudut geseran dengan peratus lempung dan indeks keplastikan. Rajah 2.44 menunjukkan hubungan antara sudut geseran berkesan (ϕ') dengan kandungan lempung. Nilai ϕ' yang diperoleh kebanyakannya bernilai di antara 20° dan 40° . Selain itu nilai ϕ' juga didapati berkurang dengan pertambahan kandungan lempung dengan persamaan berikut:

$$\phi' = 0.14 (234.5 - \% \text{ lempung}) \quad (2.20)$$

Rajah 2.45 pula menunjukkan hubungan di antara ϕ' dengan indeks keplastikan. Rajah tersebut menunjukkan ϕ' berkurangan dengan pertambahan indeks keplastikan dengan persamaan berikut:

$$\phi' = 0.32 (117 - I_p) \quad (2.21)$$

di mana,

ϕ' = sudut geseran berkesan

I_p = indeks keplastikan

2.16.5 Korelasi Unsur Oksida dengan Mineralogi Tanah Baki

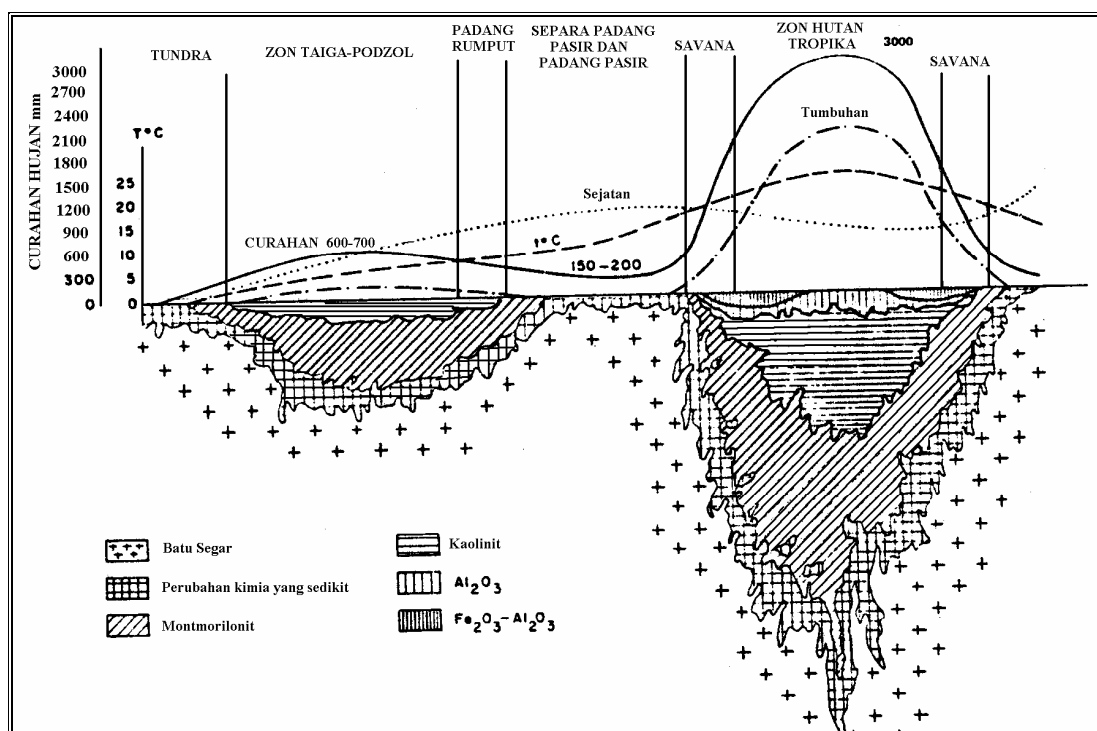
Menurut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), terdapat korelasi di antara komposisi kimia khususnya nilai pH, kepekatan kation dan unsur oksida dengan mineralogi tanah mempunyai hubungan penentuan. Menurut mereka, nilai pH yang rendah (berasid dan $\text{pH} < 7.0$) akan menyebabkan pembentukan aktif bagi mineral kaolinit. Ini adalah disebabkan oleh saiz zarah lempung (mineral kaolinit) yang bersaiz $< 2 \mu\text{m}$ membolehkan pertukaran kation berlaku dengan aktif. Maka, cas-cas positif yang berada di luar permukaan lempung akan tertarik kepada permukaan lempung yang terdiri daripada cas-cas negatif (ion OH^-) berdasarkan Lapisan Dwi Resap yang dinyatakan oleh Mitchell (1993). Selain itu, proses flokulasi juga

menyebabkan penarikan kation-kation oleh zarah-zarah tanah untuk menjadikannya lebih padat. Penarikan kation tersebut adalah melibatkan beberapa kation yang terpenting dalam tanah seperti ion K^+ , Na^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Menurut Mohr (1973) dan Shamsudin (1983), mineral kaolinit dan haloisit masing-masing bertaburan dengan major dan minor disebabkan oleh kepekatan kation yang rendah. Jika kepekatan kation $Mg^{2+} > Ca^{2+}$ dan Na^+ , ini akan menyebabkan mineral montmorilonit hadir dalam tanah dan juga, jika kepekatan kation K^+ yang tinggi, mineral ilit akan hadir dalam tanah baki. Kajian-kajian korelasi seperti Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), mendapati korelasi antara unsur oksida dan mineralogi dapat dirumuskan seperti berikut:-

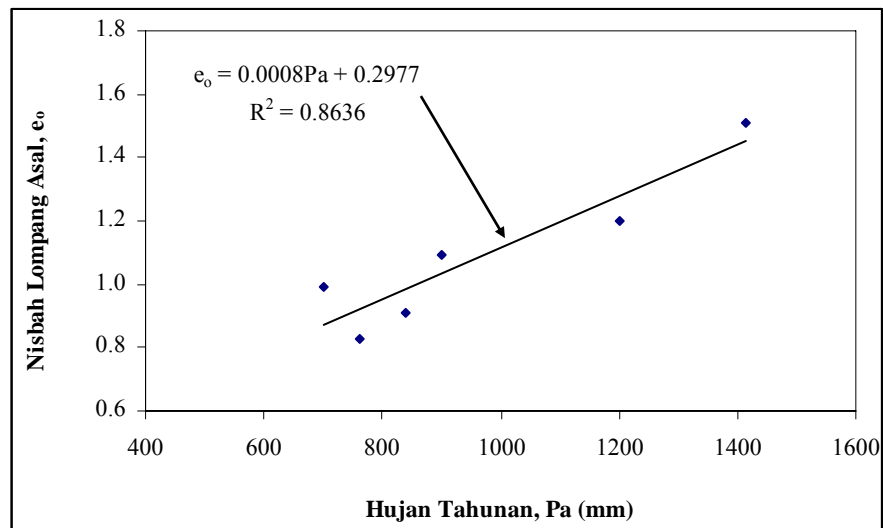
- (i) Apabila kedalaman meningkat; peratus unsur SiO_2 yang bertambah, akan menggalakkan pembentukan mineral kuarza dalam tanah, dan jika peratus SiO_2 menurun, proses penyahsilikonan akan berlaku.
- (ii) Apabila kedalaman meningkat; peratus unsur Al_2O_3 yang bertambah akan menggalakkan pembentukan mineral kaolinit dalam tanah, dan jika peratus Al_2O_3 menurun, proses larutresap dan podzolisasi akan berlaku.
- (iii) Apabila kedalaman meningkat; peratus unsur Fe_2O_3 yang bertambah akan menggalakkan pembentukan mineral goetit, hematit dan magnetit sebagai mineral minor dalam tanah. Proses baki penumpukan oleh ion-ion ferum dalam tanah berlaku yang disebabkan oleh pergerakan air dalam tanah. Ketika kejadian hujan yang lebat, air akan masuk akan ke dalam liang-liang tanah secara penyusupan. Oleh itu, pergerakan air secara terkebawah menyebabkan kepekatan ferum berkurangan yang disebabkan oleh baki-baki oksida dan baki pendedapan.

Jadual 2.1 : Jenis-jenis tanah baki serta struktur tanah
(Brink, *et al.*, 1982)

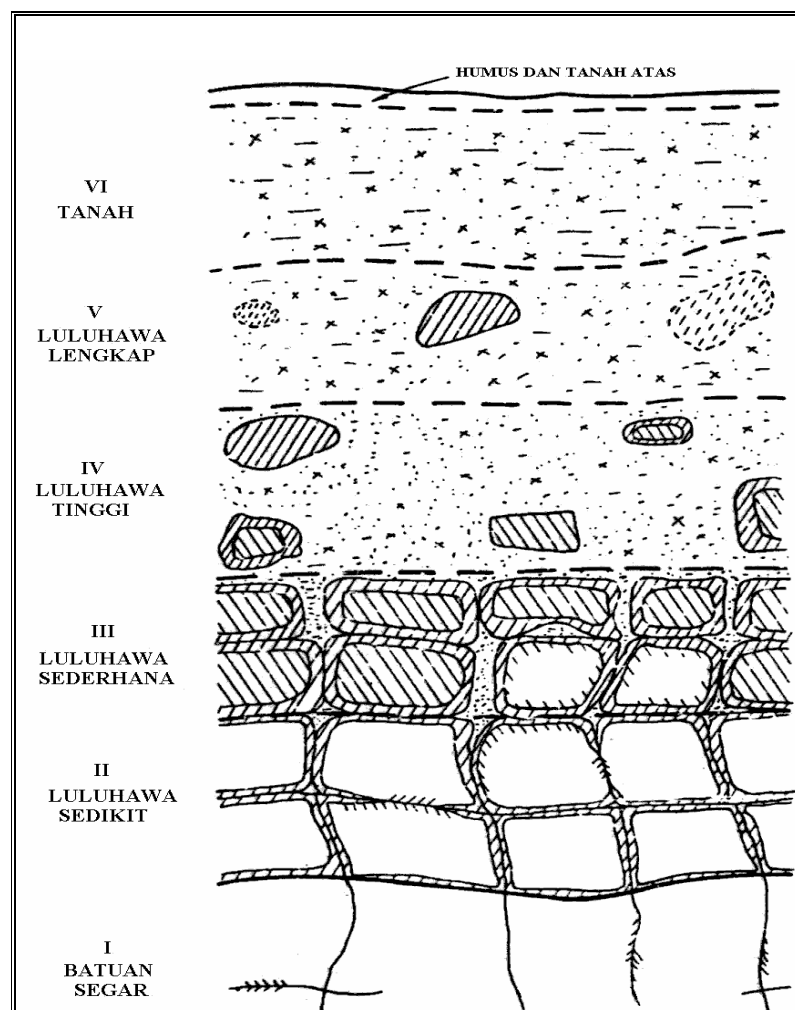
Batuan Asal	Contoh Tanah Baki	Struktur Tanah
Batu hablur berasid	Tanah baki granit, tanah baki gneis	Pasir berlempung atau lempung berpasir
Batu igneus asas	Tanah baki gabro, tanah baki dolerit, tanah baki basalt	Lempung (biasanya terged sehingga lempung berpasir dengan kedalaman
Batu berkapur	Tanah baki batu kapur, tanah baki dolomit	Kerikil
Batu sedimen lempungan	Tanah baki batu lumpur, tanah baki syal	Kelodak atau lempung berkelodak
Batu sedimen pasir atau metamorfik	Tanah baki batu pasir, tanah baki kurzit	Pasir (pasir berlempung bagi tanah baki arkos atau batu pasir berfeldsfar



Rajah 2.1 : Pengaruh iklim terhadap pembentukan tanah baki
(Strakhov, 1967)



Rajah 2.2 : Hubungan di antara nisbah lompang dengan hujan tahunan (Brink & Kantey, 1961)



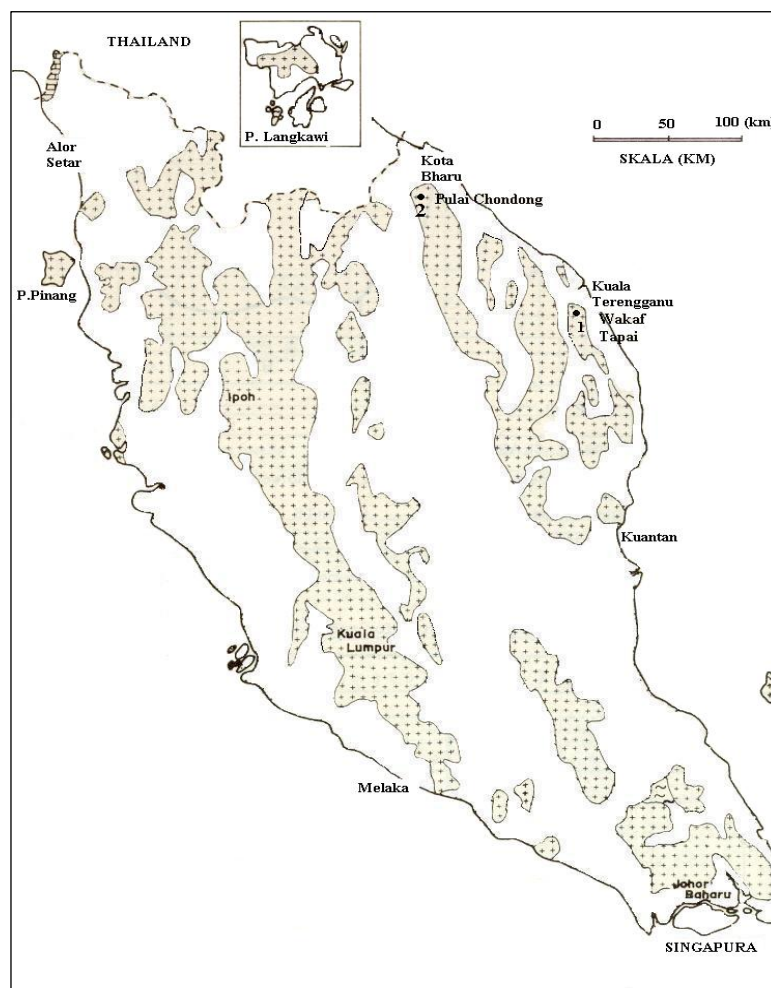
Rajah 2.3 : Klasifikasi luluhawa (Little, 1969)

Jadual 2.2 : Perbandingan pelbagai kejuruteraan geologi dan skema geologi yang dicadangkan bagi pengelasan profil luluhawa dalam batuan igneus (Irfan, 1996)

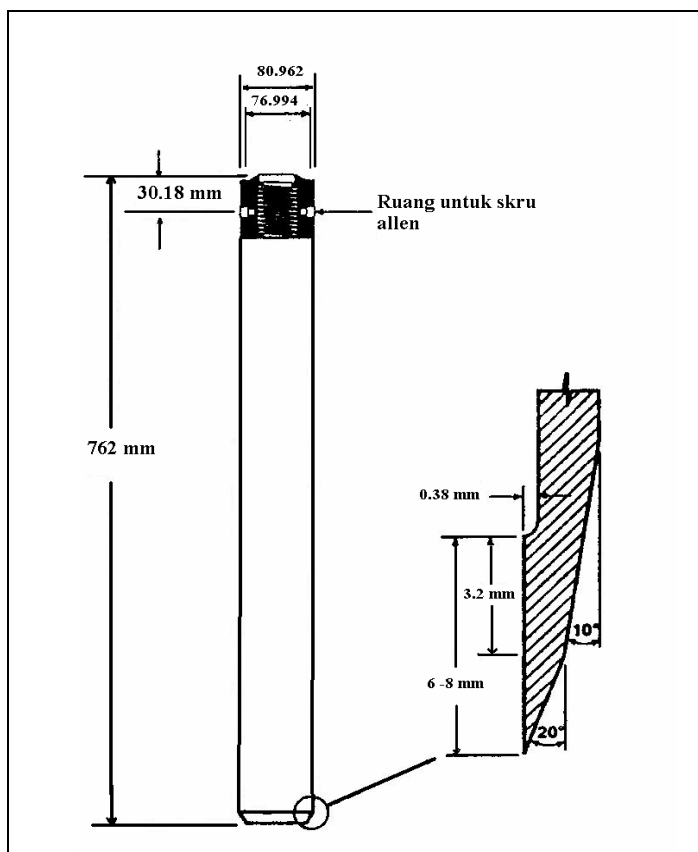
Penerangan keadaan luluhawa bagi jisim batu	GCO (1988) Batuan Igneus		Persatuan Geologi London (1990) Semua jenis batu		Persatuan Geologi London (1995) Jisim heterogen	
	Tanah		Humus			
Semua bahan batuan ditukarkan kepada tanah : Struktur jisim dan fabrik musnah. Perubahan isi padu yang ketara.	VI Tanah Baki	Tanah Baki	RS	VI	Zon 6 100 % GIV - VI	
Semua bahan batuan terurai kepada tanah	V Luluhawa Lengkap	Saprolit	PW 0/30 (< 30 % Batu)	V		
Lebih 50 % bahan batuan terurai kepada tanah. Batuan segar/ tak berwarna wujud sebagai kerangka kerja	IV Luluhawa Tinggi		PW 30/50	IV	Zon 5 <30 % GI - III	
Kurang 50 % bahan batuan diuraikan kepada tanah. Batuan segar/ tak berwarna wujud sebagai kerangka kerja tak selanjat.	III Luluhawa Sederhana	Luluhawa separa batuan	PW 50/90	III	Zon 4 30-50 % GI - III	
Kelunturan menunjukkan luluhawa bahan batu dan ketakselanjatan permukaan. Semua bahan batu mungkin berubah warna dan mungkin lebih lemah dari keadaan batuan segar	II Luluhawa Sedikit		PW 90/100		Zon 3 50-90% GI - III	
Tiada tanda-tanda nyata luluhawa bahan batu, mungkin sedikit tompokan kepada ketakselanjatan permukaan	I Batuan Segar	Batu tak terluhawa	UW	II	Zon 2 >90 % GI - III	
				I	Zon 1 100 % GI - III	

Jadual 2.3 : Taburan hujan, suhu bulanan, kelembapan relatif dan penyejatan bulanan (Khairul, 2002)

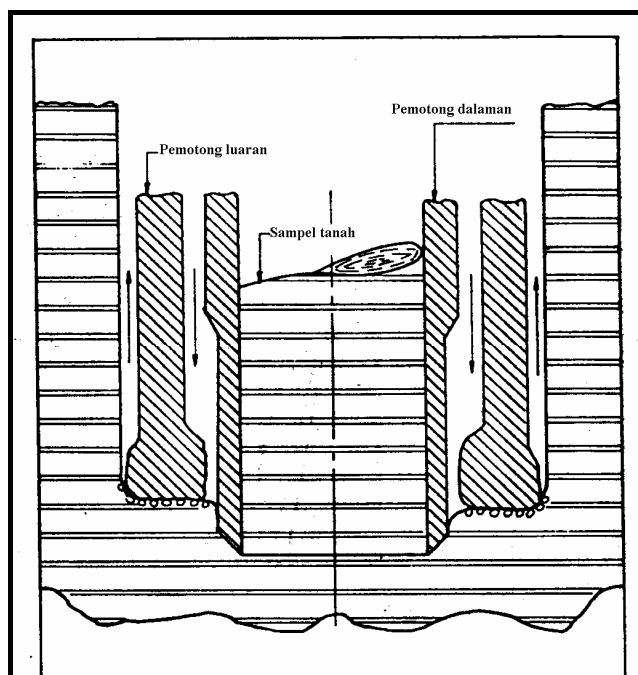
Lokasi	Taburan Hujan Tahunan (mm)	Purata Suhu Bulanan (°)	Kelembapan Relatif (%)	Penyejatan Bulanan (mm)
Utara	1947.0-2990.3	23.6-32.9	80.9-83.8	114-165
Tengah	2166.3-3461.3	24.3-32.8	77.8-80.7	114-126
Selatan	2198.3-2388.3	22.9-32.3	86.1-86.6	132-153
Timur	2364.9-3659.5	22.6-32.3	81.9-86.1	114-141



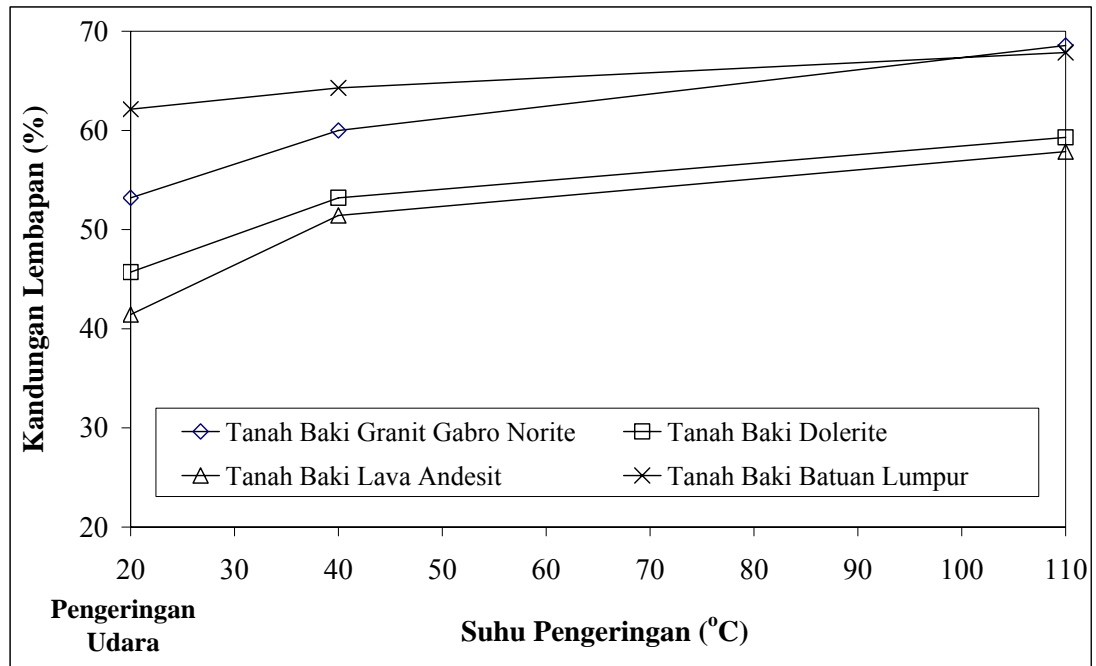
Rajah 2.4 : Taburan tanah baki granit di Semenanjung Malaysia (Diubahsuai dari Komoo & Mogana, 1988)



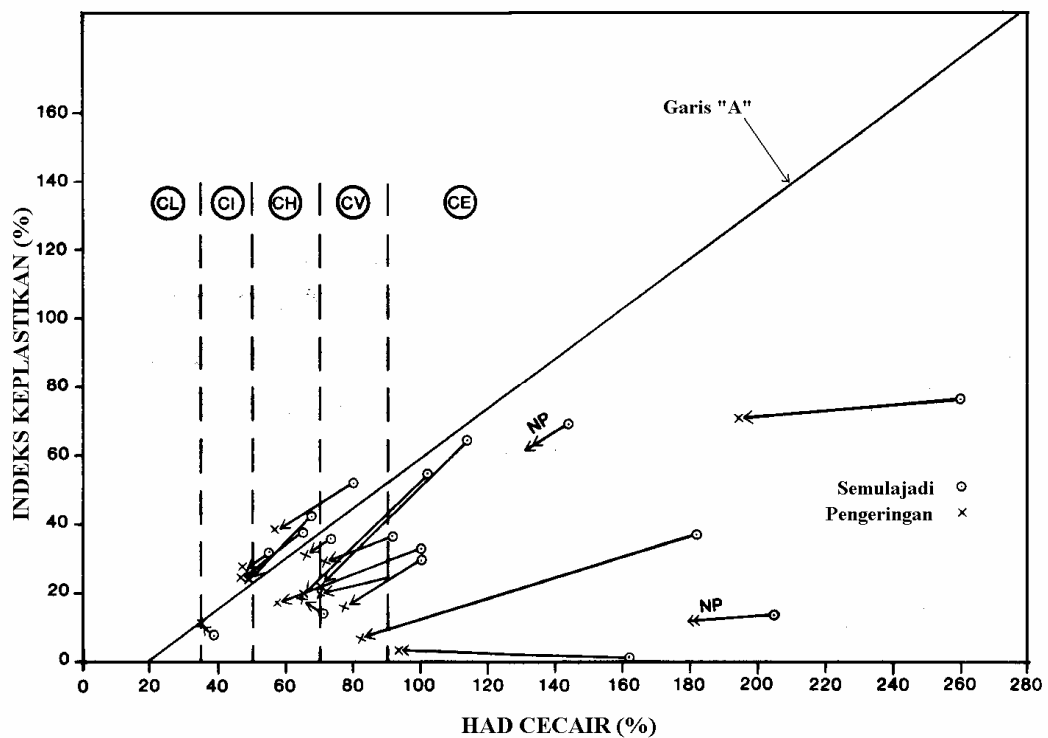
Rajah 2.5 : Tiub pensampel berdinding nipis (Simmons & Blight, 1997)



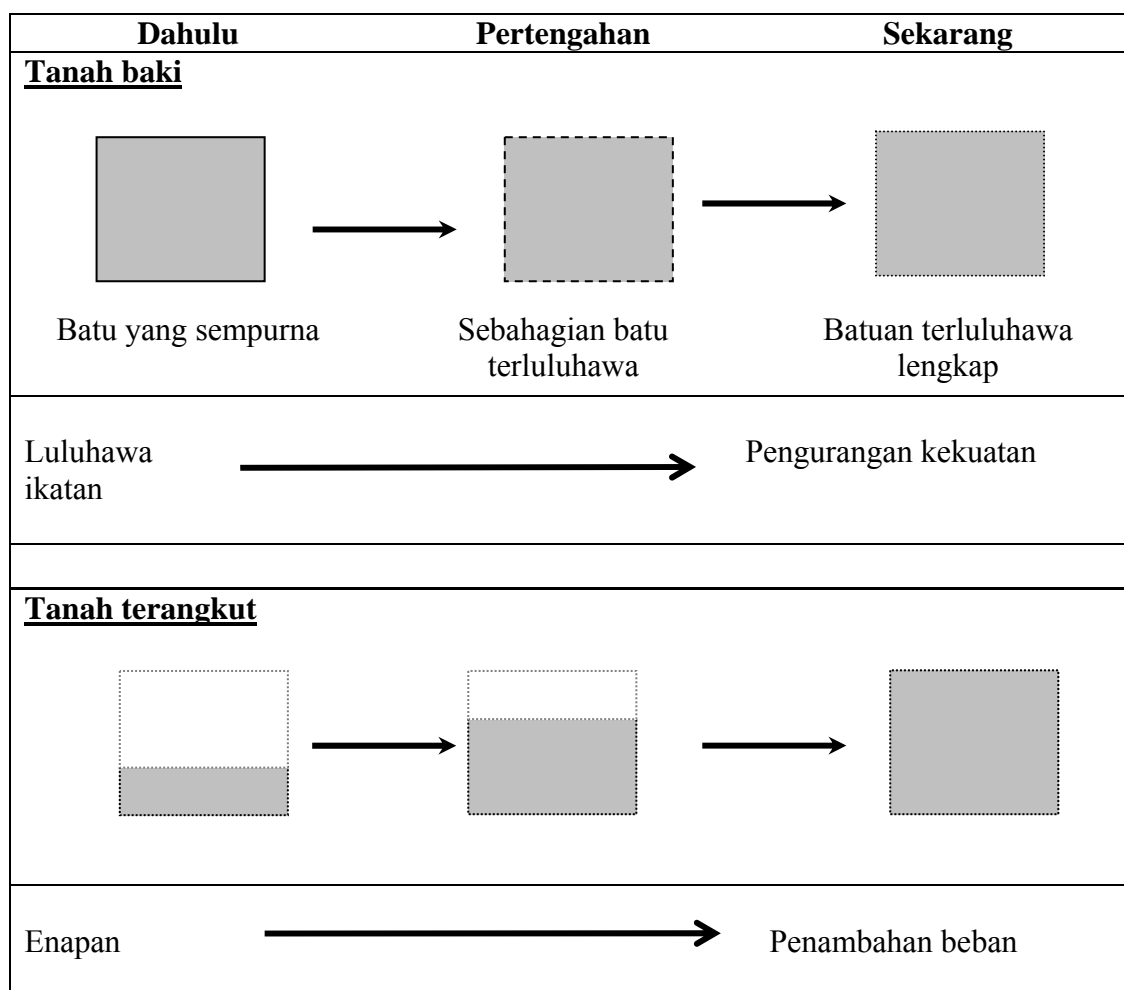
Rajah 2.6 : Kedudukan skema pensampelan Mazier (Nicholas, 1990)



**Rajah 2.7 : Kesan suhu pengeringan terhadap kandungan lembapan
(Fourie, 1997)**



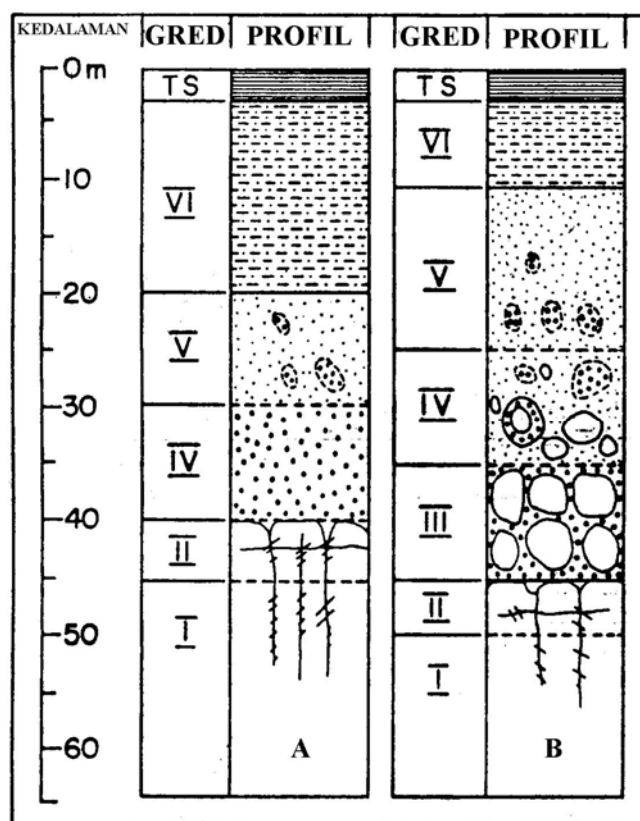
**Rajah 2.8 : Kesan pengeringan terhadap keplastikan tanah baki
(Fookes, 1997)**



Rajah 2.9 : Pembentukan tanah baki dan tanah liat
(Taha, *et al.*, 1997)

Jadual 2.4 : Nilai N berbanding gred luluhawa (Komoo & Lim, 1985)

Gred Luluhawa	Penamaan	Nilai –N
VI	Tanah Baki	0-12
V	Terluluhawa sepenuhnya	6-50
IV	Terluluhawa tinggi	30-100
III	Terluluhawa sederhana	50-610
II	Terluluhawa sedikit	Melebihi 610



Rajah 2.10 : Profil Luluhawa batuan granit di Lebuhraya Karak

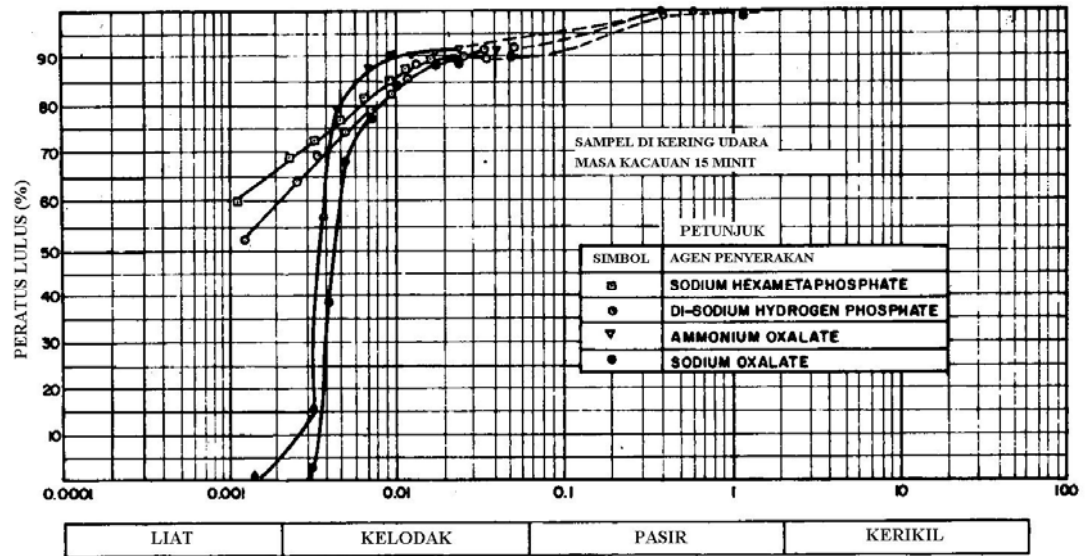
(A) Biasa ditemui. (B) Jarang ditemui (Tan & Komoo, 1990)

Jadual 2.5 : Kedalaman, kandungan lembapan dan graviti tentu tanah baki granit

Sumber	Lokasi	Kedalaman (m)	Kandungan Lembapan (%)	Graviti Tentu, G_s
Taha, <i>et al.</i> (2000)	Kuala Lumpur		31	2.55-2.61
Kasa & Ali (1997)	Nilai, Negeri Sembilan			2.66
Tan (1995)	Sungai Ara, Penang		5.7-28.42	2.50-2.77
	Bt. Bendera, Penang		7.9-18.9	2.50-2.62
	Banjaran Kledang, Perak		-	2.59-2.70
	Km 26.5 lebuh raya KL- Karak		9.0-16.0	2.30-2.68
	Km 39.9 lebuh raya KL- Karak		7.2-38.7	2.42-2.75
Kepli (1994)	Kuantan		8.35-25.46	2.57-2.64
	Melaka		53.49-57	2.42-2.76
	Malaysia			4m ke atas – 2.45 4m ke bawah – 2.67
Yee & Ooi (1975) dlm. Kepli (1994)				
Suhaimi & Abdul (1994)	ITM Shah Alam		13	2.56-2.69
Tan & Ong (1993)	Perak, Malaysia	8		2.60-2.70
Ramli (1991)	Sungai Buluh, Jalan Duta Damansara, Bukit Lanjan, Tapah dan Skudai			2.53-2.75
Ali (1990)	Kuala Lumpur, Malaysia		27	2.68
Komoo (1989)	Kuala Lumpur Malaysia	10-20	12-99	
Todo & Pauzi (1989)	Malaysia & Singapura	Sehingga 50	20-50	2.55-2.7
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia		20-30	2.62 – 2.64
Komoo (1985)	Selangor, Malaysia	5-20		
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur, Malaysia	18-34	24-31	2.64-2.72
Lee (1967)	Cameron Highland, Malaysia		18	
Skepper, <i>et al.</i> (1966) dlm. Kepli (1994)	Malaysia	Sehingga 30	21.4-34.2	

Jadual 2.5 : Sambungan

Sumber	Lokasi	Kedalaman (m)	Kandungan Lembapan (%)	Graviti Tentu, G_s
Rahardjo (2002)	Yishun, Singapura		18-58	2.66-2.71
	Mandai, Singapura		14-42	2.65-2.69
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura	Sehingga 40		2.55-2.75
Han, <i>et al.</i> (1995)	Bukit Timah, Singapura			2.66
Leong & Rahardjo (1995)	Bukit Timah, Singapura	10-40	20-22	2.63
Chang & Broms (1990)	Bukit Timah, Singapura	10-35		
Pereira & Fredlund (2000)	Utara Brazil		2	2.64
Sreekantiah (1987)	India Barat	3-15	10-40	2.40-2.65
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Thailand	Sehingga 45	5 - 25	2.56 – 2.64
Sinclair (1980)	Sri Lanka			2.85
Beattie & Attewil (1977)	Hong Kong	2-40		
Lumb (1965)	Hong Kong	Sehingga 30		



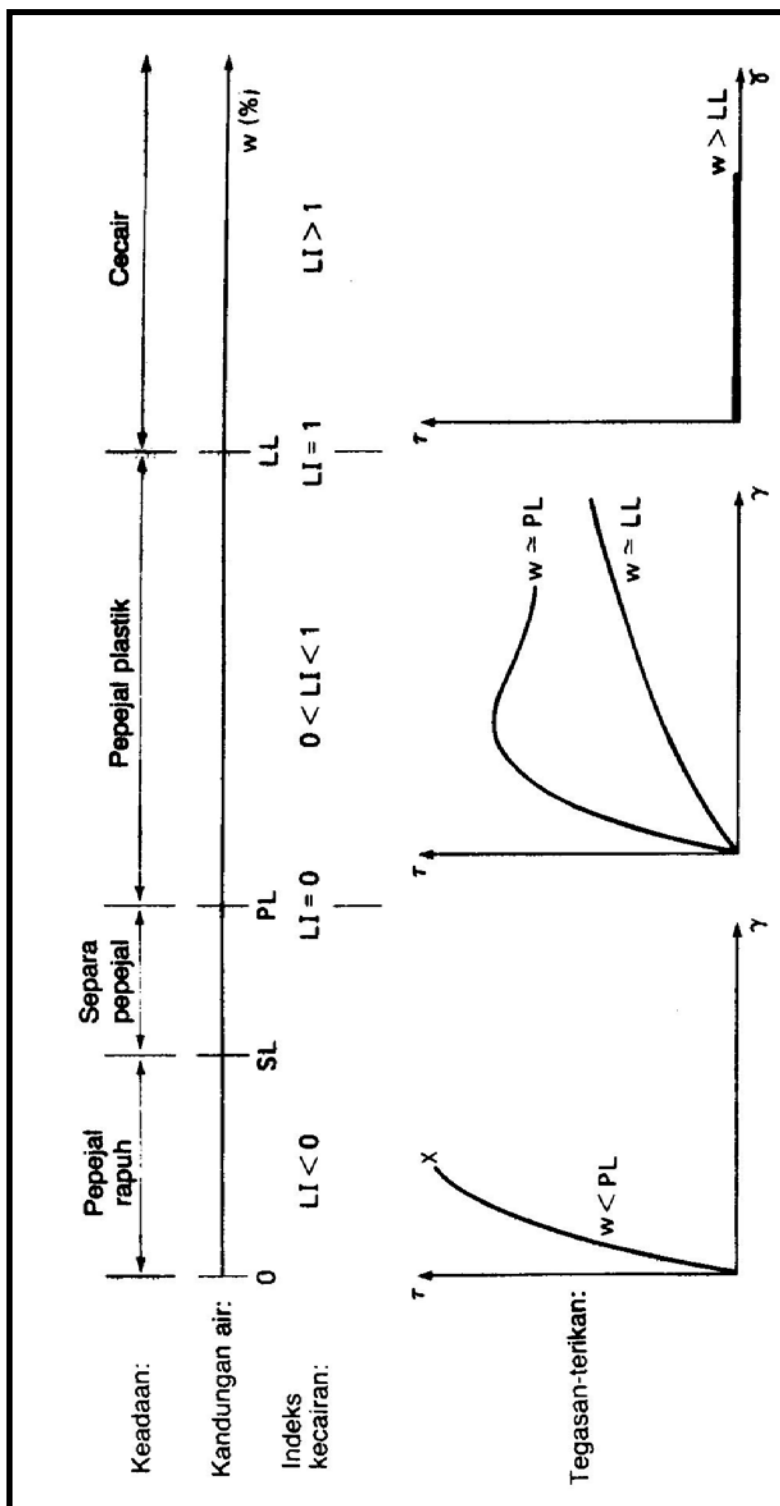
**Rajah 2.11 : Kesan agen penyerakan ke atas taburan saiz zarah di Afrika
(Di ubahsuai dari Gidigas, 1976)**

Jadual 2.6 : Taburan saiz zarah tanah baki granit

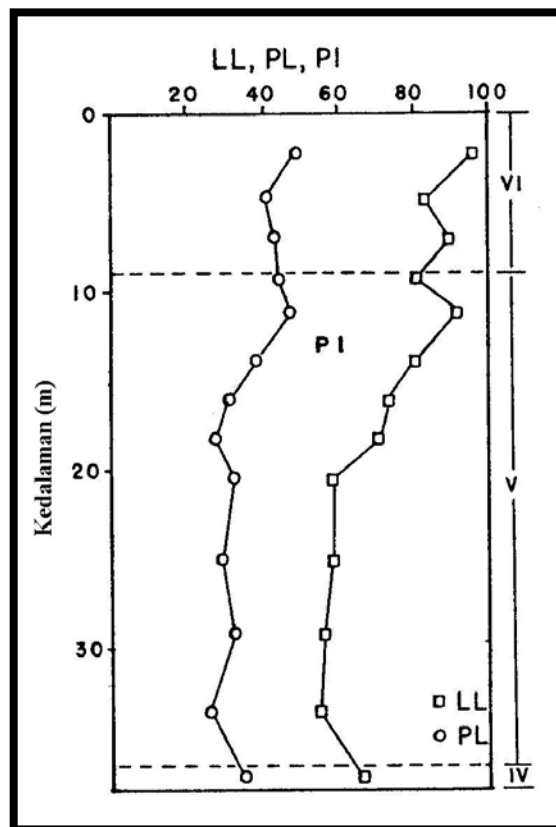
Sumber	Lokasi	Lempung (%)	Kelodak (%)	Pasir (%)	Kerikil (%)	Pengelasan / Simbol
Taba, <i>et al.</i> (2002)	Cheras, Kuala Lumpur	49	13	38	0	CH
Anuar & Faisal (1997)	Nilai, Negeri Sembilan	34.3		31.1	34.6	Lempung berpasir atau kelodak berpasir
	Sungai Ara, Penang	-	2.38-47.4	51.5-96.5	0-19.6	CL / ML
	Bt. Bendera, Penang	-	3.2-43.7	50.7-89.2	1.6-22.95	ML / CL
	Banjaran Kledang, Perak	1.5-56.9	10.3-37.1	19.8-51.9	7.8-43.6	CL-CH, ML-MH
Tan (1995)	Km 26.5 lebuhraya KL-Karak	0-15	0.3-46.2	34.9-82.3	0-64.9	ML-MH
	Km 39.9 lebuhraya KL-Karak	0-27	20.8-65.8	20.2-72.4	0-12.7	ML-MH, CL-CH
Affendi, <i>et al.</i> (1994a)	Kuantan	0-23	3-36	25-74	0-60	ML-MH, CL-CH
	Lebuh raya Karak	32-48	8-10	44-54	0-4	
	Universiti Malaya	36	40	18.8	5.2	
Affendi, <i>et al.</i> (1994b)	Bukit Idaman	38.2	10.8	37.5	13.5	
	KL – Karak	40.1	11.3	47.1	1.5	
Kepli (1994)	Melaka	10-45	32-50	10-53	-	MH, CH
Yee & Ooi (1975) dlm Kepli (1994)	Malaysia	10-43	23-49	35-40	1-2	
Suhaimi & Abdul (1994)	ITM Shah Alam	22-23		77	-	
Tan & Ong (1993)	Perak, Malaysia	20-35	10-30	30-38	12-20	
Ali (1990)	Kuala Lumpur, Malaysia	32	15	52	1	Lempung berpasir SC @ A-7-5
Komoo (1989)	Kuala Lumpur, Malaysia	5-55		35-70	10-25	SC, SM, CS
Todo & Pauzi (1989)	Malaysia	0-50	16-23	36-42	0-35	Lempung berpasir / pasir berlempung
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia	20-60	30-70	40-70	-	Lempung berpasir

Jadual 2.6 : Sambungan

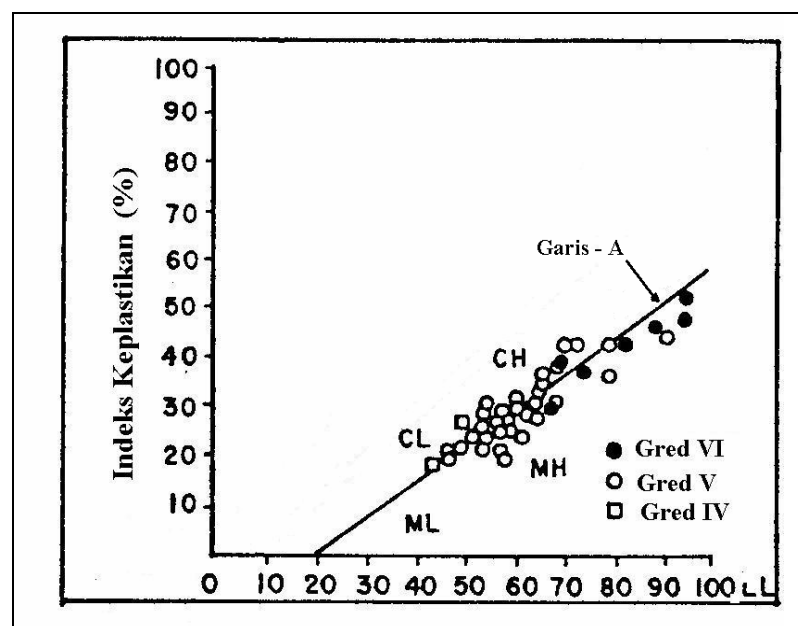
Sumber	Lokasi	Lempung (%)	Kelodak (%)	Pasir (%)	Kerikil (%)	Pengelasan / Simbol
Ting & Ooi (1976)	Malaysia	51	8	41	-	
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur, Malaysia	35-53	31-43	9-26		Lempung kelodak berpasir
Lee (1967)	Cameron Highland	10-15	37-45	20-42	6-25	
	Perak	27	46	17	10	
Skepper, <i>et al.</i> (1966) dlm. Kepli (1994)	Malaysia	13-58	7-41			
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura	3-48	7-48	4-48	0-34	Lempung kelodak berpasir sehingga kelodak lempung berpasir
Toll, <i>et al.</i> (2000)	Bukit Timah, Singapura	25-31	22-50	9-53	-	Kelodak berlempung, pasir berkelodak MH, SM
Han, <i>et al.</i> (1995)	Bukit Timah, Singapura	26	25	49	-	
Leong & Rahardjo (1995)	Bukit Timah, Singapura	23-40	60-77	-		
Todo & Pauzi (1989)	Singapura	5-60	28-30	12-40	0-18	Lempung berpasir / pasir berlempung
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Thailand	0-18	5-22	40-60	30-40	lempung berpasir sehingga kelodak berpasir
Pereira & Fredlund (2000)	Utara Brazil	13	35	52	0	SM-ML
Brink (1995)	Afrika Selatan	13-20	14-32	47-52	1-21	
Sinclair (1980)	Sri Lanka	16-30	11-28	28-42	0-45	
Sreekantiah (1987)	India Barat	7-38	28-65	11-38	3-21	
Nishida & Aoyama (1984) and Onitsuka, <i>et al.</i> (1985)	Jepun	0-11	4-19	46-62	0-50	Pasir berkelodak sehingga pasir



Rajah 2.12 : Hubungan kandungan air dan keadaan tanah serta tegasan-terikan
(Holtz dan Kovacs, 1981)



Rajah 2.13 : Hubungan keplastikan dengan kedalaman (Tan & Ong, 1993)



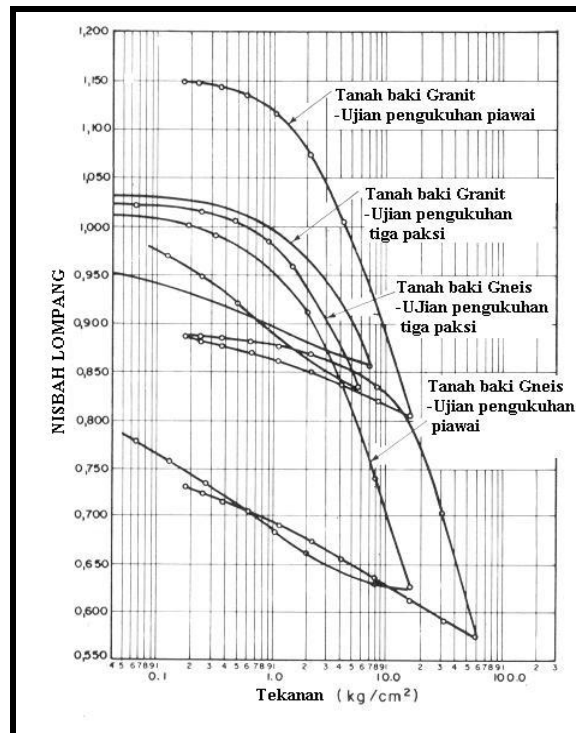
Rajah 2.14 : Carta keplastikan tanah baki granit
(Tan & Ong, 1993)

Jadual 2.7 : Had-had Atterberg bagi tanah baki granit

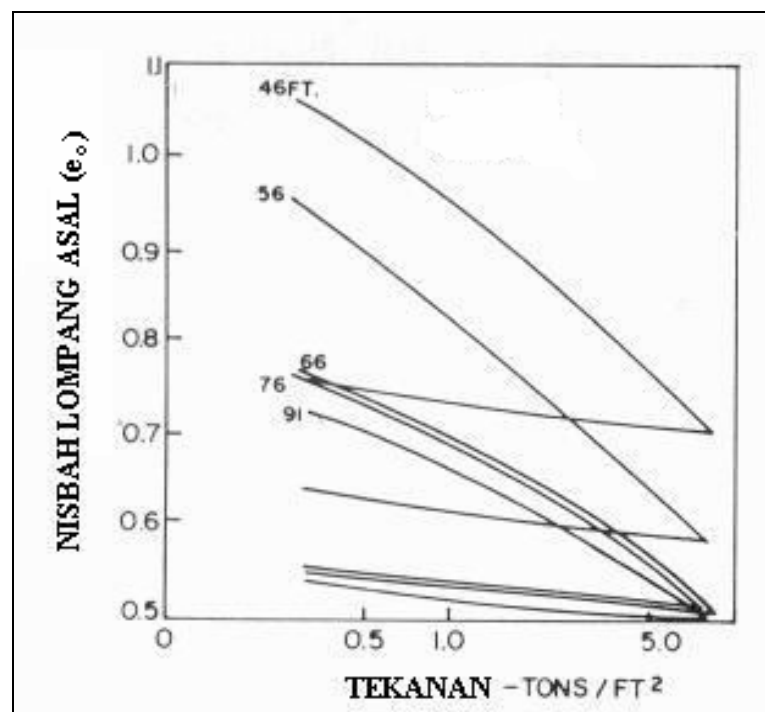
Sumber	Lokasi	Had Cecair w _L (%)	Had Plastik w _P (%)	Indeks Keplastikan I _P (%)
Taha, <i>et al.</i> (2002)	Cheras, Kuala Lumpur	67.8	34.2	33.6
Anuar & Ali (1997)	Nilai, Negeri Sembilan	25.5	20	5.5
Tan (1995)	Sungai Ara, Penang	29-54	18-43	5-24
	Bt. Bendera, Penang	37-58	23-48	4-24
	Banjaran Kledang, Perak	44-96	23-49	19-53
	Km 26.5 lebuhraya KL- Karak	31-76	18-49	6-36
	Km 39.9 lebuhraya KL- Karak	43-66	15-45	1-36
	Kuantan	36-79	21-42	12-38
Affendi, <i>et al.</i> (1994a)	Lebuhraya Karak	90-102	46.5-55.1	
Affendi, <i>et al.</i> (1994b)	Universiti Malaya	56.2	30	
	Bukit Idaman	72.8	36	
	KL – Karak	98.7	50	
	Melaka	68.5-75.0	30.07-33.01	36.62-41.99
Kepli (1994)	Malaysia	60-100	41-48	
Yee & Ooi (1975) (dlm. Kepli (1994))	ITM Shah Alam	45-50	28.2-29.4	16.8-20.6
Suhaimi and Abdul (1994)	Perak, Malaysia	68-96	40-50	30-50
Tan & Ong (1993)				
Ramli (1991)	Sungai Buluh, Jalan Duta Damansara, Bukit Lanjan, Tapah dan Skudai	20-90		5-56
Ali (1990)	Kuala Lumpur, Malaysia	73	36	37
Komoo (1989)	Kuala Lumpur, Malaysia	27-78	-	2-32
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia	35-110	-	15-70
Ting & Ooi (1976)	Malaysia	37-115		15-70
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur Malaysia	33-50	19-33	12-18

Jadual 2.7 : Sambungan

Sumber	Lokasi	Had Cecair w _L (%)	Had Plastik w _P (%)	Indeks Keplastikan I _P (%)
West & Dumbleton (1970)	Segamat, Johor	42-43	21-23	20-21
	Tampin, Negeri Sembilan	84-107	32-34	52-74
Skepper, <i>et al.</i> (1966) (dlm. Kepli (1994))	Malaysia	44-93	33-53	9-45
Rahardjo (2002)	Yishun, Singapura	35-59	13-48	7-31
	Mandai, Singapura	33-89	17-40	6-54
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura	20-80	-	5-60
Toll, <i>et al.</i> (2000)	Bukit Timah, Singapura	42-47	28-29	13-19
Leong & Rahardjo (1995)	Bukit Timah Singapura	34	14	20
Han, <i>et al.</i> (1995)	Bukit Timah, Singapura	47	29	18
Poh, <i>et al.</i> (1985)	Bukit Timah, Singapura	-	-	10-50
Pereira & Fredlund (2000)	Utara Brazil	29	17	12
Brink (1995)	Sri Lanka	33	-	8
Sreekantiah (1987)	India Barat	35-50	30-40	4-12
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Thailand	38-70	30-38	5-30
Sinclair (1980)	Sri Lanka	27-78	17-48	6-32



Rajah 2.15 : Pengaruh batuan asal terhadap pengukuhan tanah baki
(Vargas, 1953)



Rajah 2.16 : Lengkung pengukuhan tanah baki granit dengan kedalaman yang berbeza (Ruddock, 1967)

Jadual 2.8 : Parameter kebolehmampatan tanah baki granit

Sumber	Lokasi	Nisbah Lompang asal (e _o)	Pekali Pengukuhan , c _v (m ² /tahun)	Indeks Mampatan , C _c
Ramli (1991)	Sungai Buluh, Jalan Duta Damansara, Bukit Lanjan, Tapah dan Skudai	0.4-1.3		
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia		53 – 788	
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur		-	0.045- 0.18
Rahardjo (2002)	Yishun, Singapura			0.3-0.64
	Mandai, Singapura			0.18-0.24
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura	0.5-1.3		0.1-0.6
Chang & Broms (1990)	Bukit Timah, Singapura	0.8-1.1		0.05-0.4
Yong, <i>et al.</i> (1985)	Singapura			0.1-0.6
Irfan (1996)	Hong Kong	0.3-1.2		

**Jadual 2.9 : Kebolehtelapan profil luluhawa batuan igneus dan metamorfik
(Deere & Patton, 1971)**

Zon	Hubungan Kebolehtelapan
Tanah atas berorganik	Sederhana kepada tinggi
Tanah baki matang / koluvium	Rendah
Tanah baki muda/ tanah saprolitik	Sederhana
Saprolit	Tinggi
Batuan terluluhawa	Sederhana kepada tinggi
Batuan segar	Rendah kepada sederhana

**Jadual 2.10 : Kebolehtelapan tanah baki granit dan gneis
(Selepas Garga & Blight, 1997)**

	Jenis Batuan	Kebolehtelapan k (m/s)	Catatan
Tanah saprolitik (tanah baki muda)	Granit	$3.96 \times 10^{-3} - 1.9 \times 10^{-5}$	Ujian makmal
	Granit	$3.2 \times 10^{-5} - 4.75 \times 10^{-9}$	-
	Granodiorit	$5.5 \times 10^{-6} - 4.75 \times 10^{-9}$	Ujian pengukuhan
	Granodiorit	9.5×10^{-8}	Ujian kebolehtelapan turus berubah
	Kuarza-diorit	$3.2 \times 10^{-6} - 9.5 \times 10^{-8}$	Ujian di tapak dan makmal
	Gneis	$4.8 \times 10^{-6} - 1.9 \times 10^{-7}$	Ujian makmal selari dengan syis
	Gneis	$1.9 \times 10^{-6} - 9.5 \times 10^{-8}$	Ujian makmal normal kepada syis
Tanah baki matang	Granit	$3.8 \times 10^{-6} - 1.9 \times 10^{-7}$	Ujian makmal
	Granit	$1.9 \times 10^{-6} - 4.75 \times 10^{-9}$	-
	Granit	$1.9 \times 10^{-6} - 9.5 \times 10^{-7}$	Lapisan mika dalam Gneis

Jadual 2.11 : Kebolehtelapan tanah baki granit

Penyelidik	Lokasi	Pekali Kebolehtelapan, k (m/s)
Todo & Pauzi (1989)	Malaysia & Singapura	10^{-7} – ujian di tapak
Balasubramanian, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia	5.0×10^{-8} – 5.0×10^{-9} – ujian oedometer
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur, Malaysia	1.4×10^{-8} – 7.8×10^{-8} – ujian oedometer
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura	10^{-6} – 10^{-8} – ujian di tapak 10^{-8} – 10^{-9} – ujian oedometer
Poh, <i>et al.</i> (1985)	Singapura	10^{-5} – 10^{-9} - ujian turus menurun
Vaughan (1988)	Brazil	4×10^{-6} – 5×10^{-9} – ujian oedometer
Sreekantiah (1987)	India Barat	7×10^{-7} – 16×10^{-7}
Garga & Blight (1997)	Afrika Selatan	3.96×10^{-3} – 4.75×10^{-9} – tanah baki muda 1.90×10^{-6} – 4.75×10^{-9} – tanah baki matang
De Graft- Johnson, <i>et al.</i> (1969)	Ghana	7.5×10^{-7} – 1.7×10^{-9} – ujian oedometer
Lumb (1962)	Hong Kong	2×10^{-4} – 5×10^{-6}
Lamb (1962)	Hong Kong	1×10^{-5} – 1×10^{-6}

Jadual 2.12 : Perbezaan ciri-ciri yang mempengaruhi kekuatan ricih tanah bagi tanah baki dan tanah terangkut (Brenner, *et al.* 1997)

Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan	Kesan Terhadap Tanah Baki	Kesan Terhadap Tanah Terangkut
Sejarah tegasan	Biasanya tidak penting	Sangat penting, ubahsuai susunan butiran dalaman menyebabkan kesan terkukuh lebih
Zarah/butiran tanah	Sangat berbeza, kepelbagaian mineralogi dan banyak butiran yang lemah	Lebih seragam, sedikit sahaja butiran lemah kerana zarah yang lemah telah disingkirkan semasa angkutan
Ikatan	Komponen kekuatan yang penting disebabkan oleh penyimenan; menyebabkan pintasan kejelekitan tegasan alah; boleh musnah disebabkan gangguan	Terjadi disebabkan usia endapan yang menghasilkan pintasan jelekitan dan tegasan alah, boleh musnah disebabkan oleh gangguan
Struktur ketakselajaran	Terbentuk daripada pra-wujud struktur atau ciri-ciri struktur dalam batuan induk termasuk perlapisan, struktur aliran, sambungan, satah gelinciran.	Terbentuk daripada kitaran enapan dan sejarah tegasan, pembentukan permukaan satah gelinciran mungkin berlaku
Tak isotropi	Biasanya terbentuk daripada fabrik batuan relikta, contohnya perlapisan	Terhasil daripada endapan dan sejarah tegasan tanah
Nisbah lompong/ketumpatan	Bergantung kepada keadaan yang tercapai semasa proses luluhawa, tidak bergantung kepada sejarah tegasan	Bergantung kepada sejarah tegasan

Jadual 2.13 : Kekuatan ricih tanah baki granit

Sumber	Lokasi	Kedalaman (m)	Ujian Rich Terus		Ujian Tiga Paksi					
					Tak Berkukuh Tak Bersalir (UU)		Terkukuh Tak Bersalir (CU)		Terkukuh Bersalir (CD)	
			c (kN/m ²)	ϕ (°)						
Anuar & Ali (1997)	Nilai, Negeri Sembilan		113 – UD 84 - D	31 – UD 35 – D						
Kepeli (1994)	Melaka				10-33	<10	9.5-28	8-17.5		
Suhaimi & Abdul (1994)	ITM Shah Alam		c' = 28	ϕ ' = 39						
Todo <i>et al.</i> (1994)	Kuala Lumpur				25-180					
Ramli (1991)	Sungai Buluh, Jalan Duta Damansara, Bukit Lanjan, Tapah dan Skudai						0-40	14-36		
Todo & Pauzi (1989)	Malaysia & Singapura	15			27-87	< 11				
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Malaysia		15-44	21-32	73-117	1-9.5				
Ting & Ooi (1976)	Malaysia	5-21	15-43.5	21-32	61.8-117	1-9.5				
Chan & Chin (1972)	Kuala Lumpur									
Lee (1967)	Cameron Highland	0.85-10					1 -5	25-35		
Rahardjo (2002)	Yishun, Singapura	4.5-19					6-50	28-33		
	Mandai, Singapura	1.5-28					0-14	27-31		
Winn, <i>et al.</i> (2001)	Bukit Timah, Singapura				10-150	< 10		20-40		

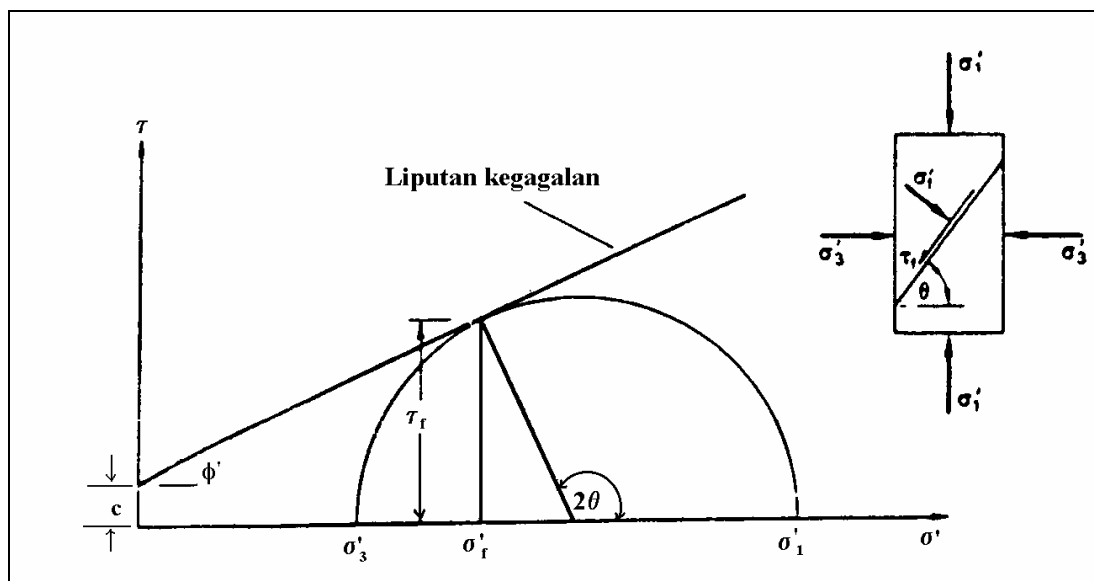
Jadual 2.13 : Sambungan

Sumber	Lokasi	Kedalaman (m)	Ujian Rich Terus		Tak Terkukuh Tak Bersalir (UU)			Terkukuh Tak Bersalir (CU)			Terkukuh Bersalir (CD)	
			c (kN/m ²)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	c (kN/m ²)	ϕ (°)		
Leong & Rahardjo (1995)	Bukit Timah, Singapura	0-3					0-17 c = 0-105	33-41 $\phi = 12-25$				
Deshmukh & Amonkar (2000)	Goa, India				75	35		15	80	16		
Sreekantiah (1987)	India Barat						6-51	16-30				
Robert (1992)	Indonesia						14	37				
Matsui & San (1990)	Osaka, Jepun	0-7							27	45		
Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)	Thailand		0-10	30-43								
Sinclair (1980)	Sri Lanka		-	-	-	-	80-275	-				
Beattie & Attewill (1977)	Hong Kong				3.3-41.6	1-11	0	40-42				

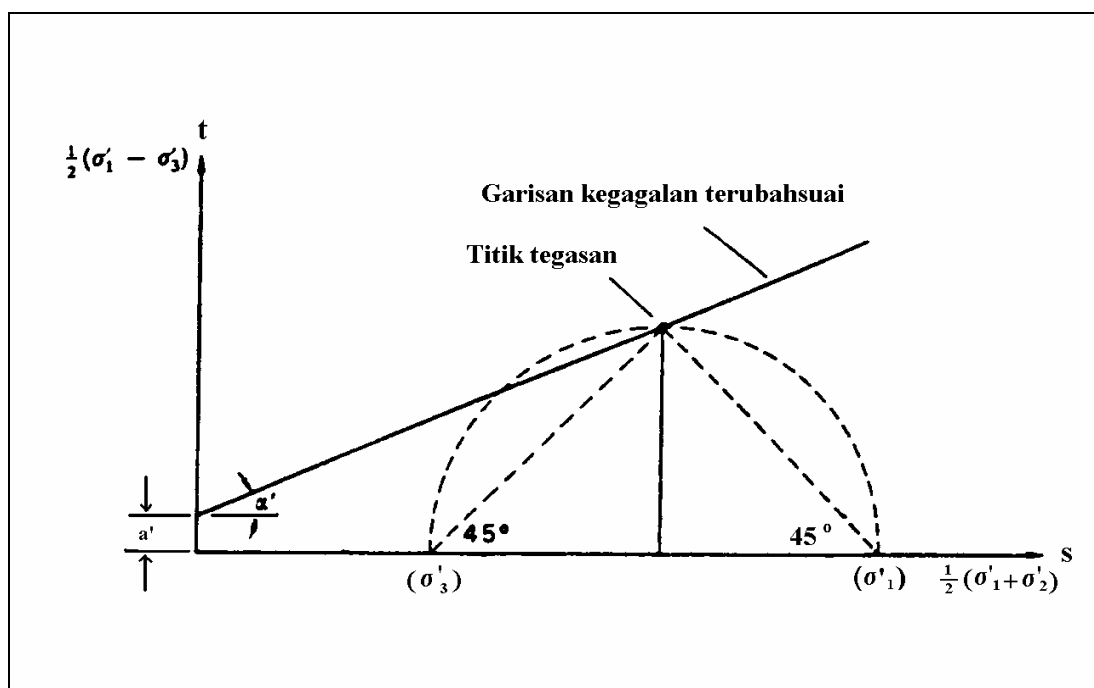
*

UD - Tak Bersalir

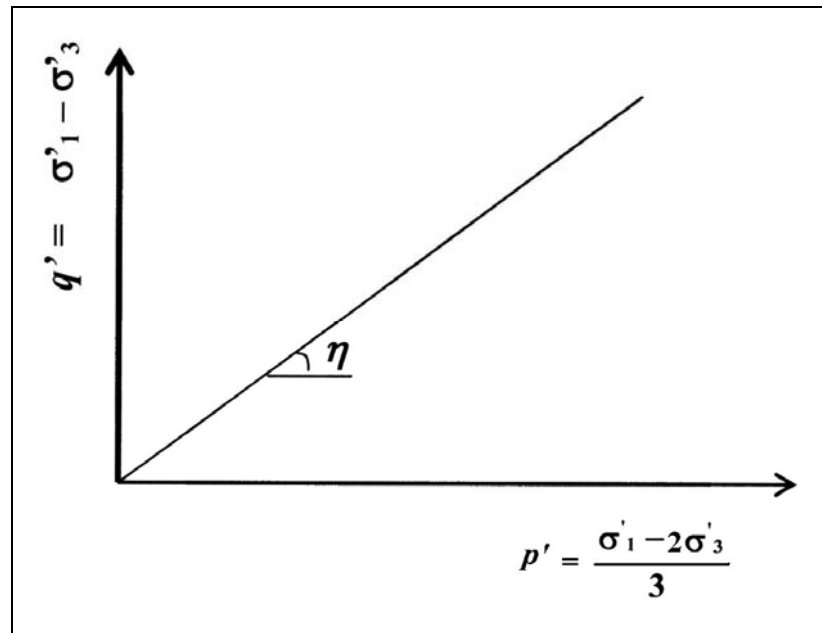
D - Bersalir



Rajah 2.17 : Gambarajah bulatan Mohr



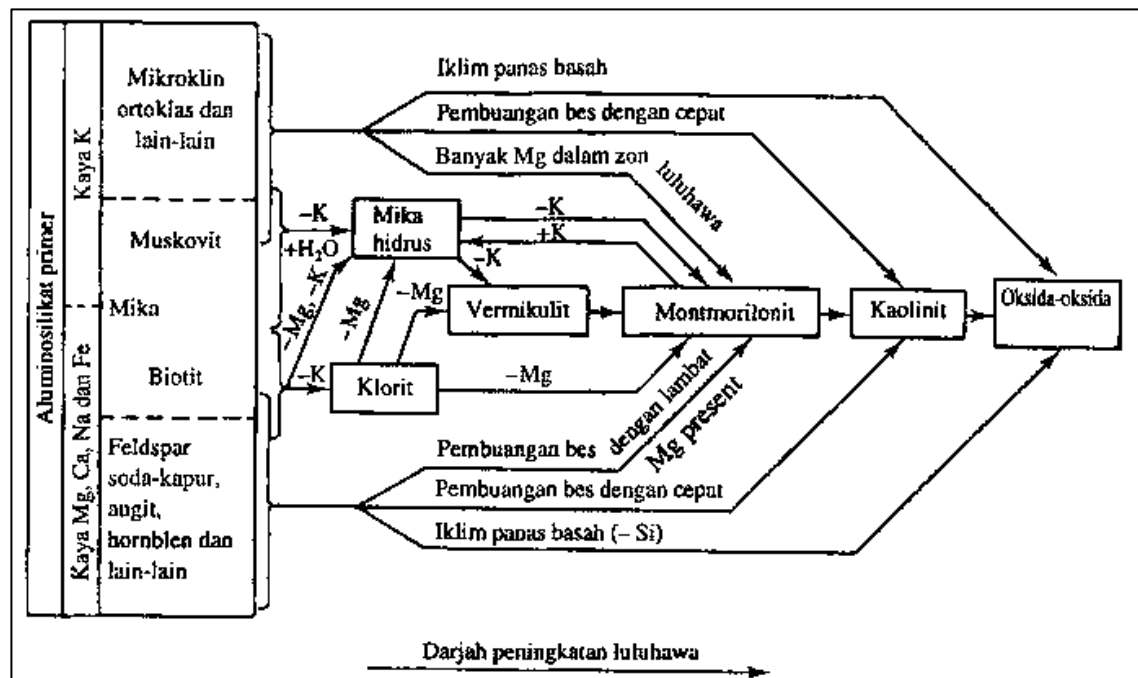
Rajah 2.18 : Kaedah MIT



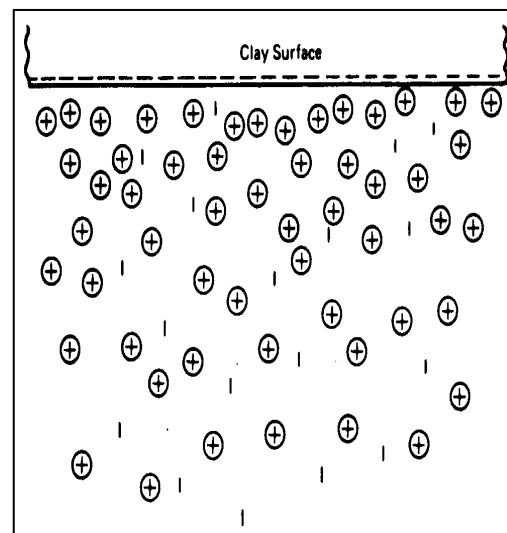
Rajah 2.19 : Kaedah Cambridge

Jadual 2.14 : Komposisi kerak bumi (Syed Syeikh, 1990)

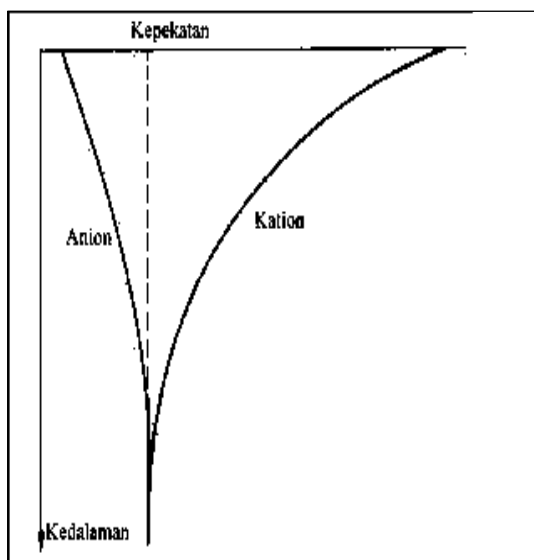
Unsur	Peratus Berat
Oksigen, O	47
Silikon, Si	28
Aluminium, Al	8
Besi, Fe	5
Kalsium, Ca	3.5
Sodium, Na	2.8
Potasium, K	2.6
Magnesium, Mg	2
Titanium, Ti, Hidrogen, H, Fosforus, P, Mangan, Mn, Sulfur, Karbon, C.	1



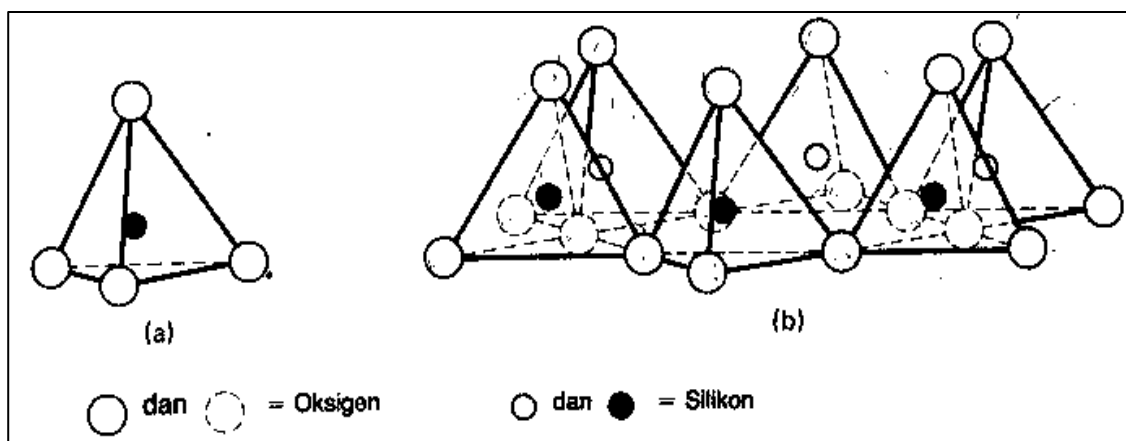
Rajah 2.20: Pembentukan mineral silika melalui proses luluhawa
(Beavis, 1992)



Rajah 2.21: Lapisan dwi-resap (Mitchell, 1993)

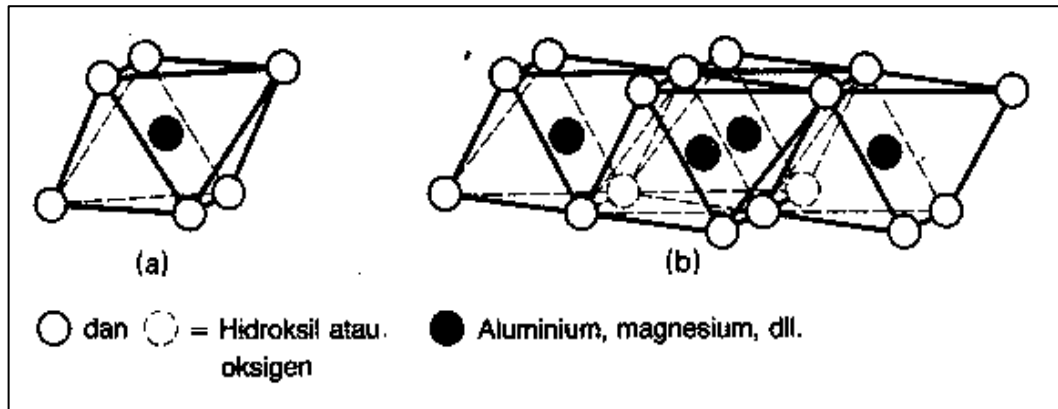


Rajah 2.22: Kepekatan kation mengikut teori dwi-lapisan (Mitchell, 1993)

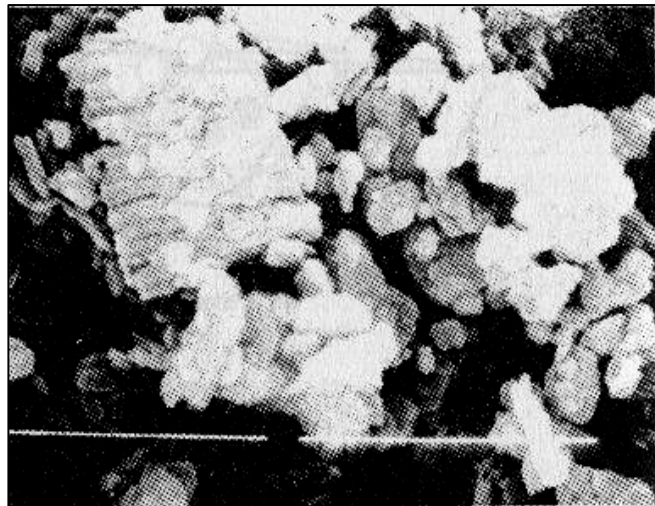


Rajah 2.23: (a) Tetrahedra Silika Tunggal (Grim, 1959)

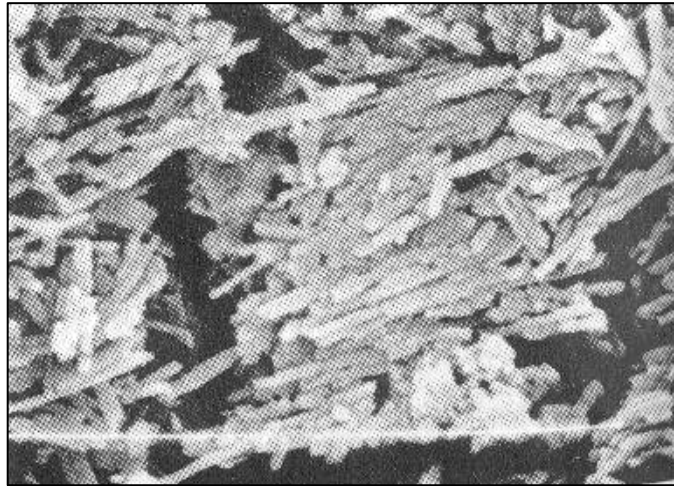
(b) Pandangan Isometrik bagi Kepingan Silika atau Tetrahedra (Grim, 1959)



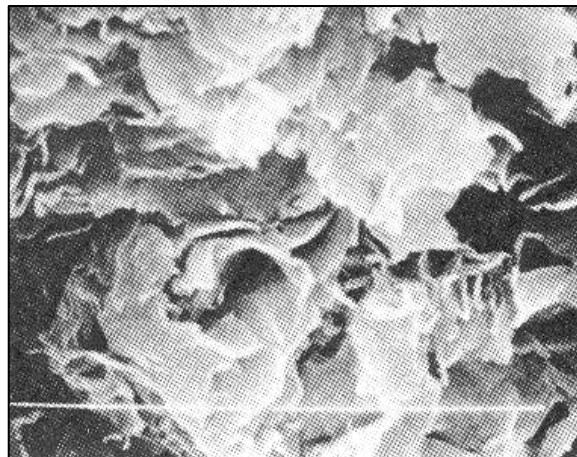
Rajah 2.24: (a) Oktahedra aluminium tunggal (atau Magnesium) (Grim, 1959)
(b) Pandangan isometrik kepingan oktahedra (Grim, 1959)



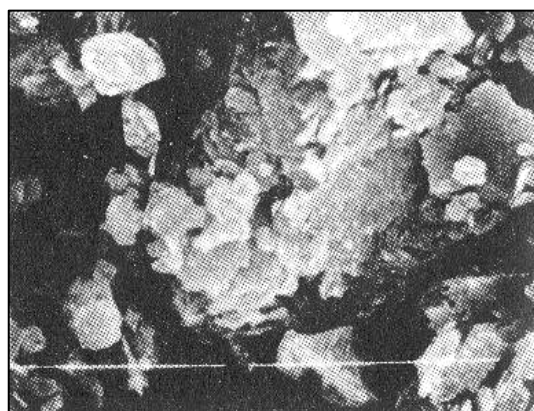
Rajah 2.25: Mikrograf bagi mineral kaolinit (Mitchell, 1993)



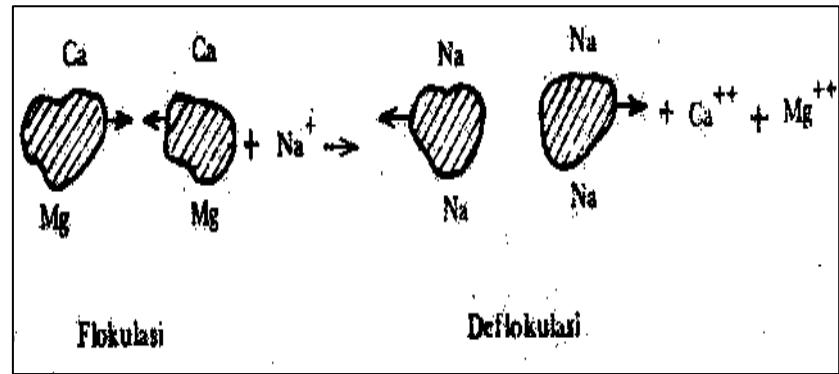
Rajah 2.26: Mikrograf bagi mineral haloisit (Mitchell, 1993)



Rajah 2.27: Mikrograf bagi mineral montmorilonit (Mitchell, 1993)



Rajah 2.28: Mikrograf bagi mineral ilit (Mitchell, 1993)



Rajah 2.29 : Proses flokulasi dan deflokulasi (Shamsudin, 1981)

PERINGKAT ASAS (ELEMENTARY LEVEL)

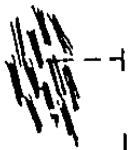
Susunan Asas Zarah (Elementary Particle Arrangements) → interaksi antara partikel asas

LEMPUNG

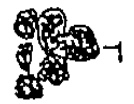
Rawak



Selari

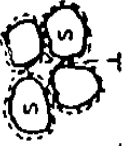


Bergugus



BERBUTIR (GRANULAR)

Hubungan Individu (Clean Contacts) Hubungan Terselaput (Clothed Contacts)



Zarah
Asas Lempung



Saiz beremping, berplat, berbuku, atau bertub. Saiz berbijji kelodak atau berpasir.
Longgar – tumpat : saling mengunci.

Intra-Asas liang-liang

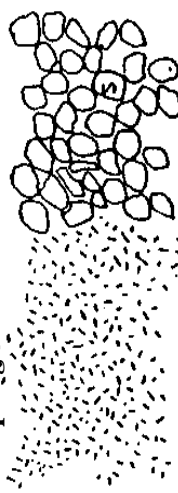
Intra-Himpunan liang-liang : antara
sejumlah susunan asas zarah

PERINGKAT HIMPUNAN (ASSEMBLAGE LEVEL)

Partikel himpunan dibentuk dengan kombinasi oleh susunan asas zarah.

MATRIKS

Lempung



Berbutir



PENGAGREGATAN



Tatasusunan luas oleh susunan asas zarah

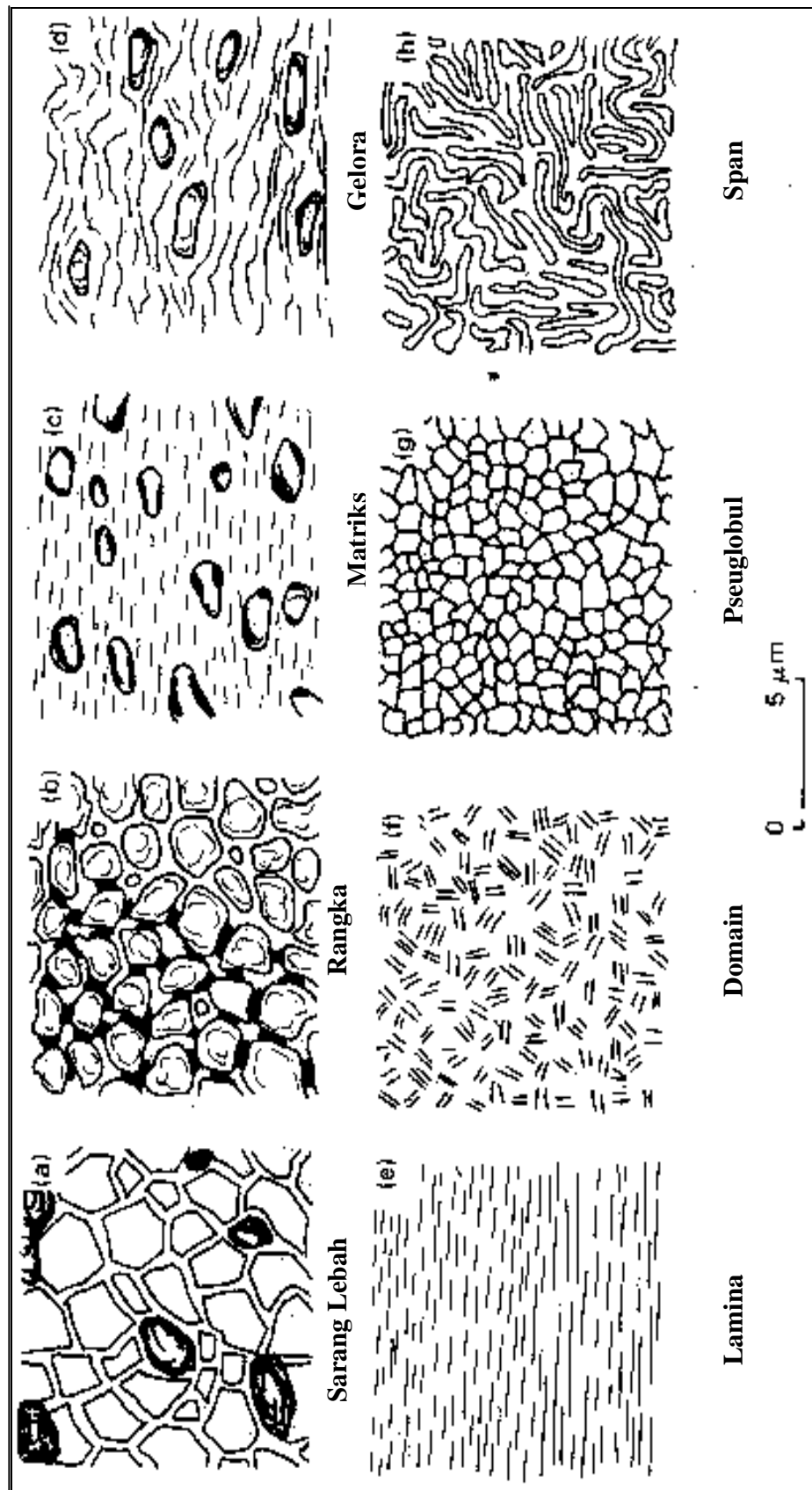
Unit diskret oleh susunan
asas zarah

PENGHUBUNG

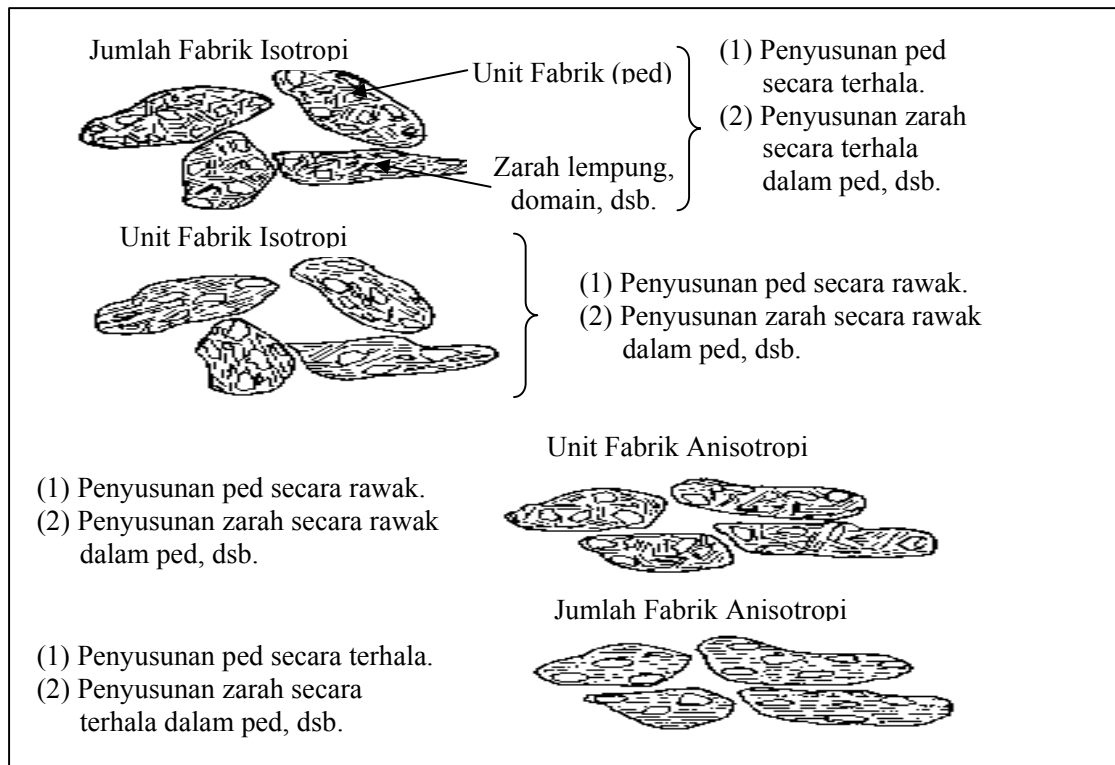
Jejambat oleh susunan
asas zarah

Himpunan antara liang-liang

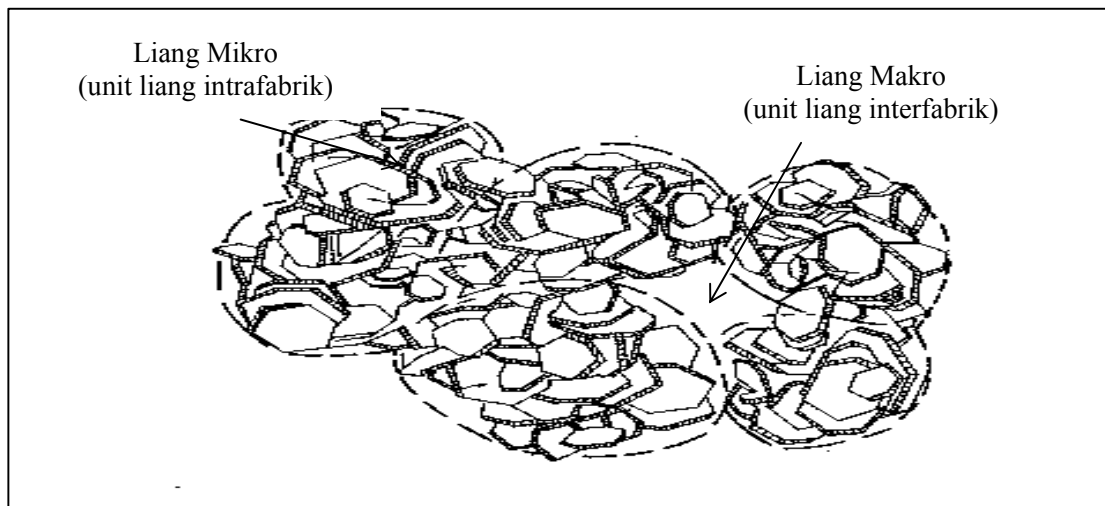
Rajah 2.30 : Gambarajah skematik bagi susunan asas zarah (Collins dan McGown, 1974)



Rajah 2.31 : Model-model struktur tanah (Osipov dan Sokilov, 1978)



Rajah 2.32 : Gambarajah skematik bagi ciri-ciri tertib pertama dan kedua Fabrik (Yong, 1975)



Rajah 2.33 : Gambarajah skematik bagi liang makro dan liang mikro (Yong, 1975)

Jadual 2.15: Muatan pertukaran kation mineral lempung
(Mitchell, 1993 dan Mohd Raihan & Ramli, 1992)

Mineral	Nilai KPK (meq/100 g)
Kaolinit	3 – 15
Haloisit 2H ₂ O	5 – 10
Haloisit 4H ₂ O	40 – 50
Smektit	80 – 150
Ilit	10 – 40
Vermikulit	100 – 150
Klorit	10 – 40
Sepiolit-Attapulgit- Paligorskit	3 – 15

Jadual 2.16: Lokasi sampel tanah yang digunakan oleh pengkaji terdahulu

Pengkaji	Lokasi Pensampelan
Za-Chieh dan Mirza (1988)	Bangkok, Hua Hin, Chantaburi, Saraburi, Khorat, Ubon, Yasothon, Khon Khaen, Sakon Nakhon dan Udon, Thailand
West dan Dumbleton (1970)	Jalan Muar-Segamat, km 31, Johor, Malaysia
	Jalan Tampin-Gemas, km 41½, Negeri Sembilan, Malaysia
Mohr (1973)	India dan Afrika Selatan
Balasubramaniam <i>et al.</i> (1985)	Mae Sarieng, Utara Thailand
Ruenkraiergsa dan Petchgate (1985)	Utara Thailand
Zauyah (1985)	Kampung Batu Gajah, Kelantan, Malaysia
Eswaran dan Wong (1986)	Semenanjung Malaysia
Rao <i>et al.</i> (1988)	India
Radwan (1988)	Aswan, Mesir
Hamzah dan Abdul Ghani (1993)	Lebuhraya Utara-Selatan, Semenanjung Malaysia
Irfan (1996)	Victoria, Kowloon, Kun Tong, Tsun Wan di Hong Kong
Sueoka <i>et al.</i> (1996)	Kaduna, Nigeria
	Osaka, Jepun
Cook <i>et al.</i> (1996)	Sepanjang Lebuhraya Utara-Selatan, Semenanjung Malaysia
Mohd Raihan <i>et al.</i> (1997)	Semenanjung Malaysia
Tan (1996)	
Aung <i>et al.</i> (2000)	Yishun, Utara Singapura

**Jadual 2.17: Kajian bagi nilai pH, kebolehpaya pertukaran kation (KPK)
dan kepekatan kation bagi tanah baki**

Pengkaji dan Lokasi Kajian	pH	KPK (meq/100 g)	Kepekatan Kation (ppm atau mg/L)
Za-Chieh dan Mirza (1969); Thailand	3.85 – 5.77	-	-
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	5.1 – 5.7	9.5 – 14.2	-
Rao <i>et al</i> (1988); India	7.3	14	-
Tan (1996); Semenanjung Malaysia	4.6 – 7.80	-	Julat Na ⁺ : 2.93 – 31 Julat K ⁺ : 0.6 – 8.0 Julat Ca ²⁺ : 0.4 – 26.66 Julat Mg ²⁺ : 0.015 – 2.07 Julat SO ₄ ²⁻ : 0.5 – 45.5 Julat Cl ⁻ : 7.09 – 202.06
Sueoka <i>et al.</i> (1996); Nigeria dan Jepun	-	4.62 – 14.2	-
Mohd Raihan <i>et al.</i> (1997); Semenanjung Malaysia	4.5 – 6.0	6.2 – 15.8	-

– : Tiada kajian yang telah dijalankan.

Jadual 2.18: Kajian peratusan elemen oksida bagi tanah baki

Pengkaji dan Lokasi Kajian	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	K₂O
Radwan (1988); Mesir	67.54	13.55	1.24	0.06	0.18	2.02
	—	—	—	—	—	—
	70.01	18.73	2.65	1.59	0.73	4.99
Sueoka <i>et al.</i> (1996); Nigeria dan Jepun	55.1	15.3	0.64	0.003	0.031	0.33
	—	—	—	—	—	—
	69.0	25.5	9.83	0.10	0.32	5.66
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	50.5	12.5	6.1	0.3	0.4	0.3
	—	—	—	—	—	—
	70.5	23.1	14.9	0.8	1.0	0.7
West dan Dumbleton (1970); Semenanjung Malaysia	70	12	3	0	0	4
	-	-	-	-	-	-
	72	14	4	2	1	6
Hamzah dan Abdul Ghani (1993); Semenanjung Malaysia	66	19	1.25	0.00	0.44	0.2
	-	-	—	—	—	—
	69	20	1.6	0.01	0.46	0.5

Jadual 2.19: Kajian mineralogi tanah baki

Pengkaji dan Lokasi Kajian	Q	Ka	He	I	Mo	V	Gi	Go	Mu	Ha	O	Mi
Za-Chieh dan Mirza (1969); Thailand	■	■	-	□	□	-	-	-	-	-	-	-
West dan Dumbleton (1970); Semenanjung Malaysia	■	□	-	□	-	-	-	□	-	-	-	-
	■	■	□	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	■	■	-	-	-	□	□	□	-	-	-	-
Balasubramaniam <i>et al</i> (1985); Thailand	■	-	□	-	-	-	-	-	-	-	□	-
Zauyah (1985); Semenanjung Malaysia	■	■	-	□	-	-	□	-	-	-	-	-
Rao <i>et al</i> (1988); India	■	■	-	-	□	-	-	-	□	-	-	-
Sueoka <i>et al</i> (1996); Nigeria	■	■	□	□	□	-	-	-	-	-	-	-
Sueoka <i>et al</i> (1996); Jepun	■	■	-	□	-	□	-	-	-	-	-	-
Irfan (1996); Hong Kong	■	□	-	□	-	-	□	□	□	■	-	-
Cook <i>et al</i> (1996); Semenanjung Malaysia	■	■	-	-	-	-	□	-	-	-	-	□
Aung <i>et al</i> (2000); Singapura	■	■	-	□	□	-	-	-	-	□	-	-

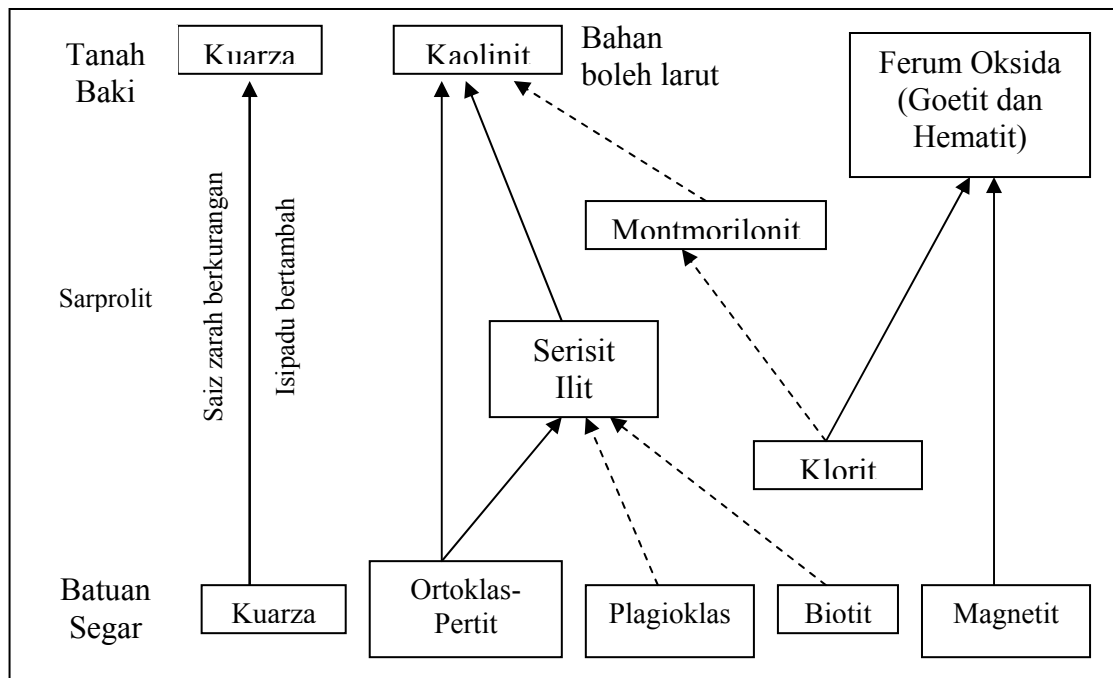
Petunjuk: - Q – Kuarza, Ka – Kaolinit, He – Hematit, I – Ilit, Mo – Montmorilonit, V – Vermikulit, Gi – Gibsit,

Go – Goetit, Mu – Muskovit, Ha – Haloisit, O – Ortoklas, Mi – Mika

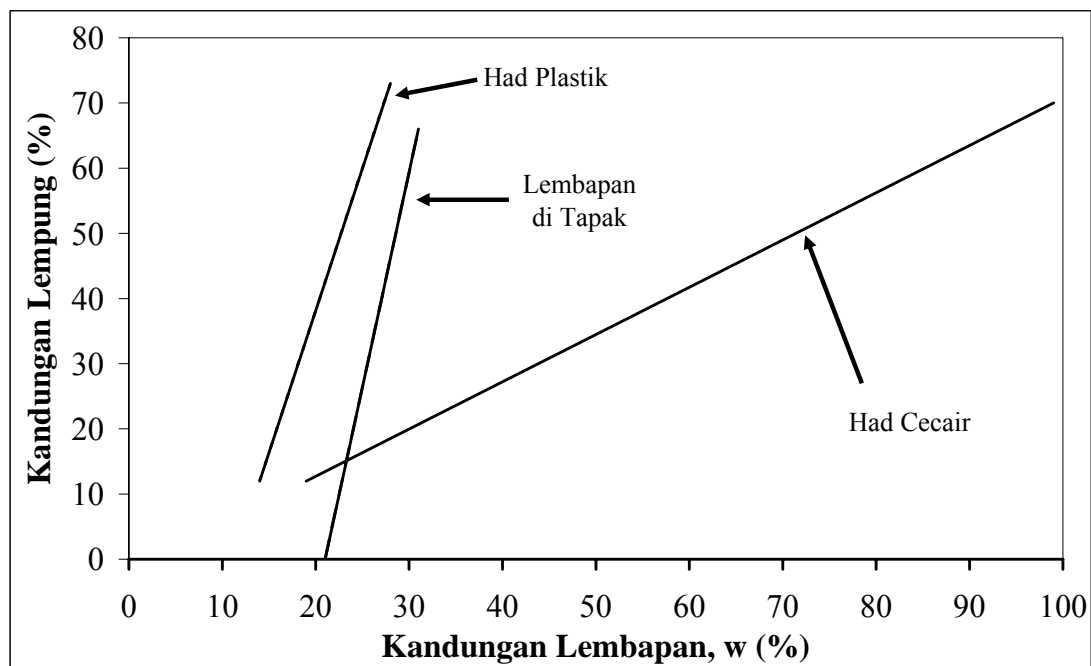
–: Tiada mineral yang dikesan; ■ – Mineral Major; □ – Mineral Minor

Jadual 2.20: Kajian mikrostruktur dan mikrofabrik tanah baki

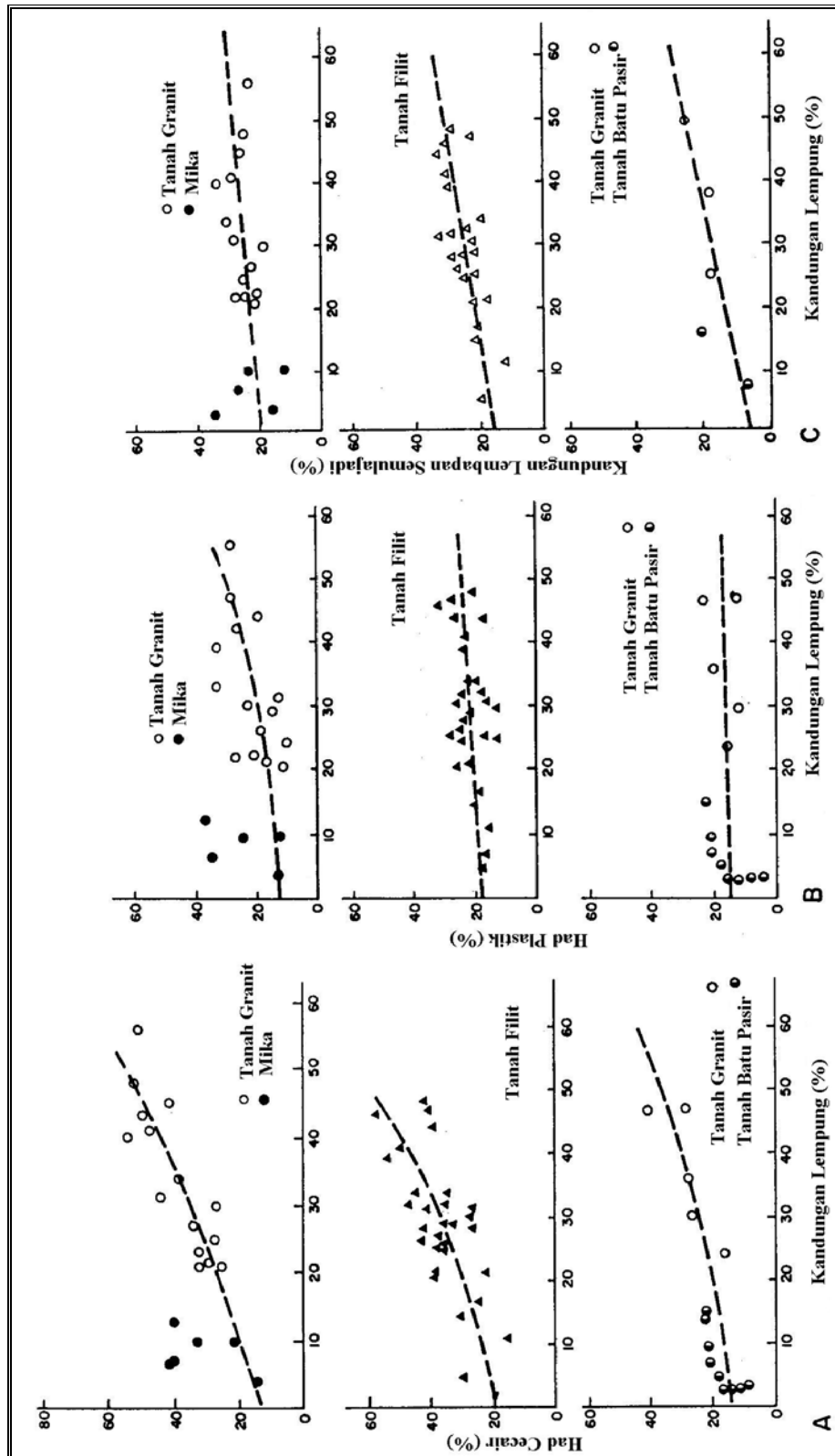
Pengkaji dan Lokasi Kajian	Kajian Mineralogi
Aung <i>et al.</i> (2000); Singapura	Pada kedalaman sampel ujikaji 4 m – 5 m; <ul style="list-style-type: none"> • Berstruktur padat, jumlah liang-liang mikro kecil • Mempunyai fabrik berbentuk gugusan dan berstruktur matriks lempung
	Pada kedalaman sampel ujikaji 8.5 m – 9.5 m <ul style="list-style-type: none"> • Berstruktur padat, jumlah liang-liang mikro besar • Mempunyai fabrik berbentuk butiran dan berstruktur matriks butiran dan lempung
Cook <i>et al.</i> (1996); Semenanjung Malaysia	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk fabrik tanah yang terdiri daripada ped yang lemah • Taburan fabrik tanah dalam keadaan bergugus-gugus • <i>Meso-pattern</i> fabrik yang tidak sebetul
	Pengujian sampel tanah yang menggunakan Mikroskop Binokular, didapati bahawa:- <ul style="list-style-type: none"> • Ped fabrik yang berblok-blok • Kehadiran mineral kuarza yang berbentuk butiran bersegi-segi • Perubahan warna tanah yang sepenuhnya akibat daripada proses luluhawa



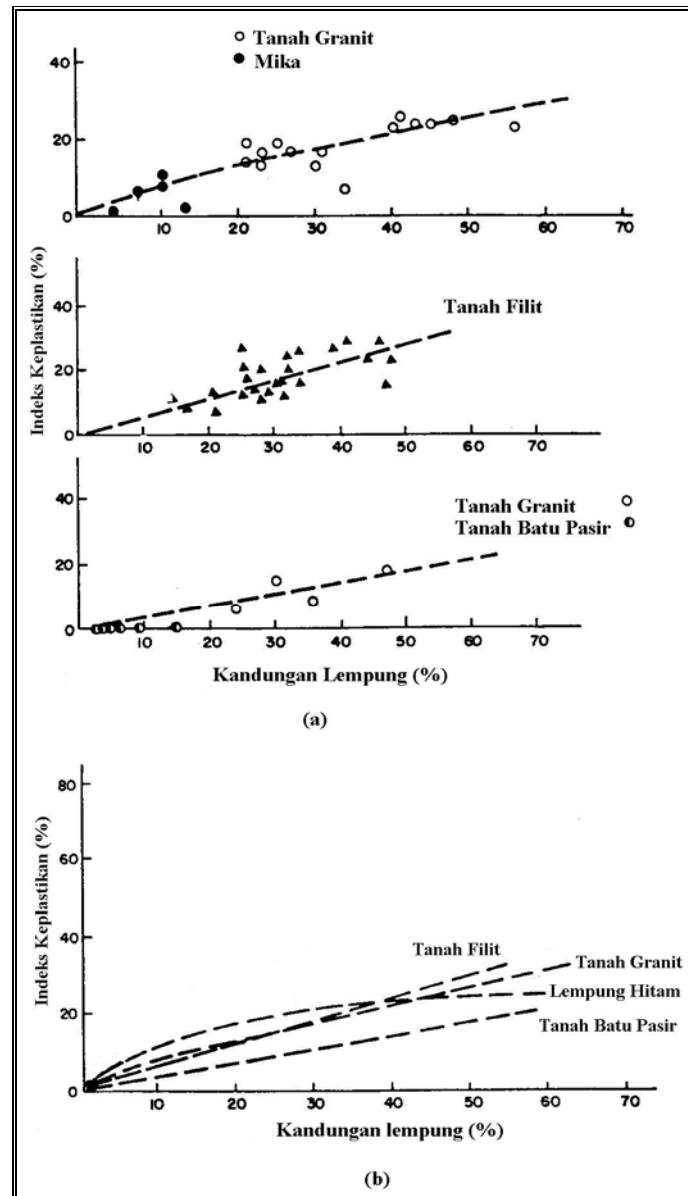
Rajah 2.34: Proses luluhawa granit bagi daerah Mae Sarieng
(Balasubramaniam *et al.*, 1985)



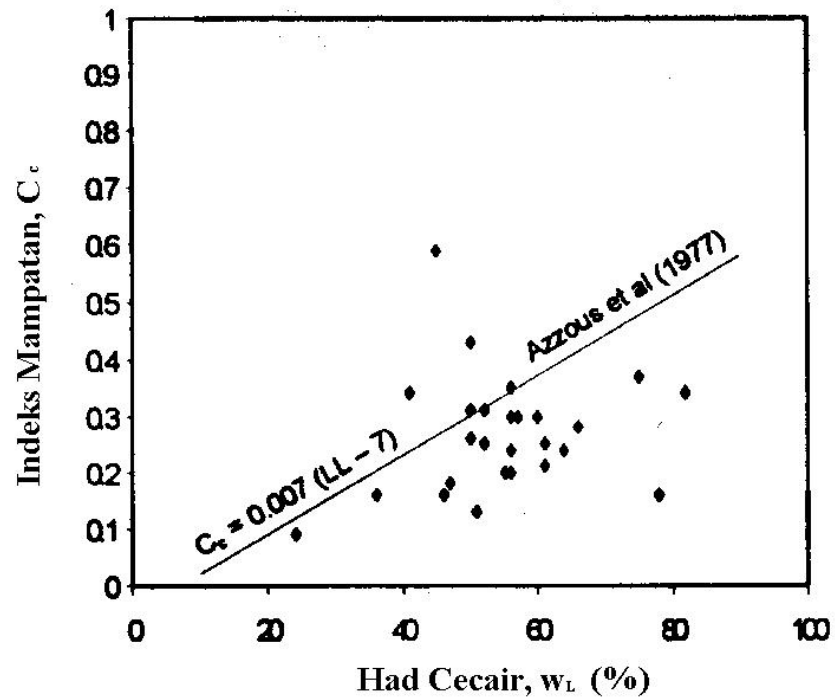
Rajah 2.35 : Korelasi antara kandungan lempung dan ciri-ciri indeks tanah
(Diubahsuai dari Road Research Laboratory, 1942)



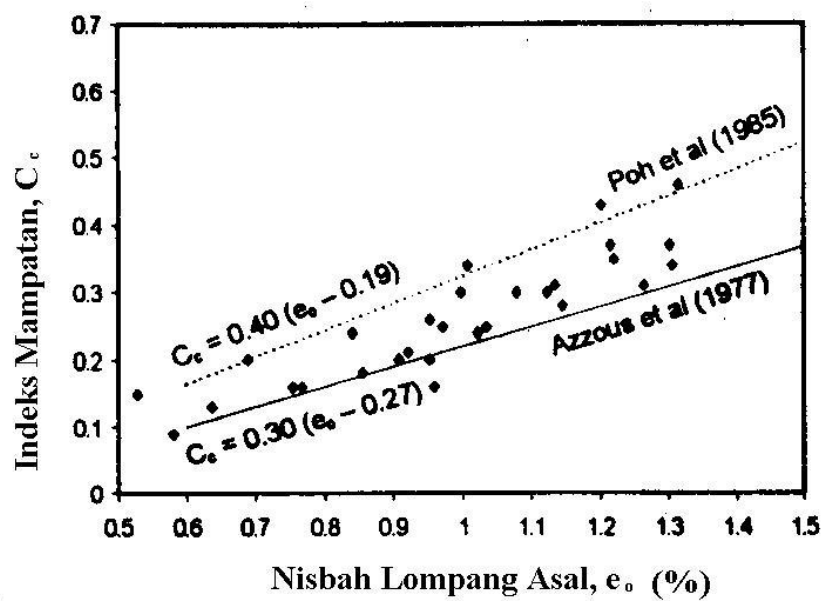
Rajah 2.36 : Korelasi antara kandungan lempung dengan had Atterberg dan kandungan lempaban semulajadi (Gidigasu, 1976)



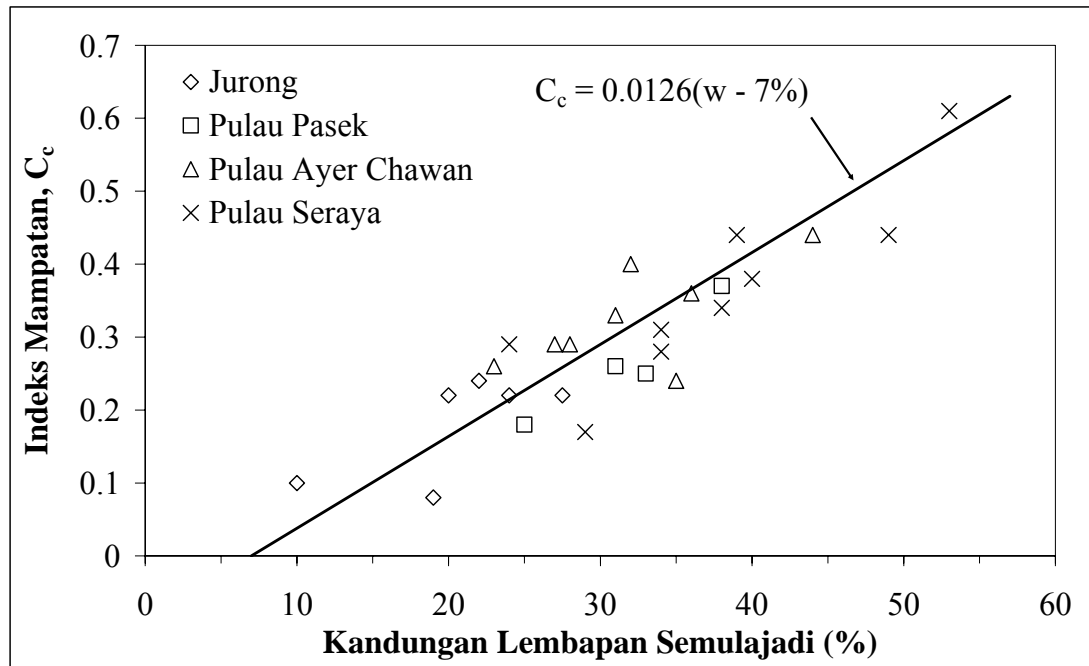
**Rajah 2.37 : (a) Korelasi antara kandungan lempung dan indeks keplastikan.
 (b) Purata hubungan antara kandungan lempung dengan indeks keplastikan
 bagi pelbagai jenis batuan asal (Gidigasu, 1976)**



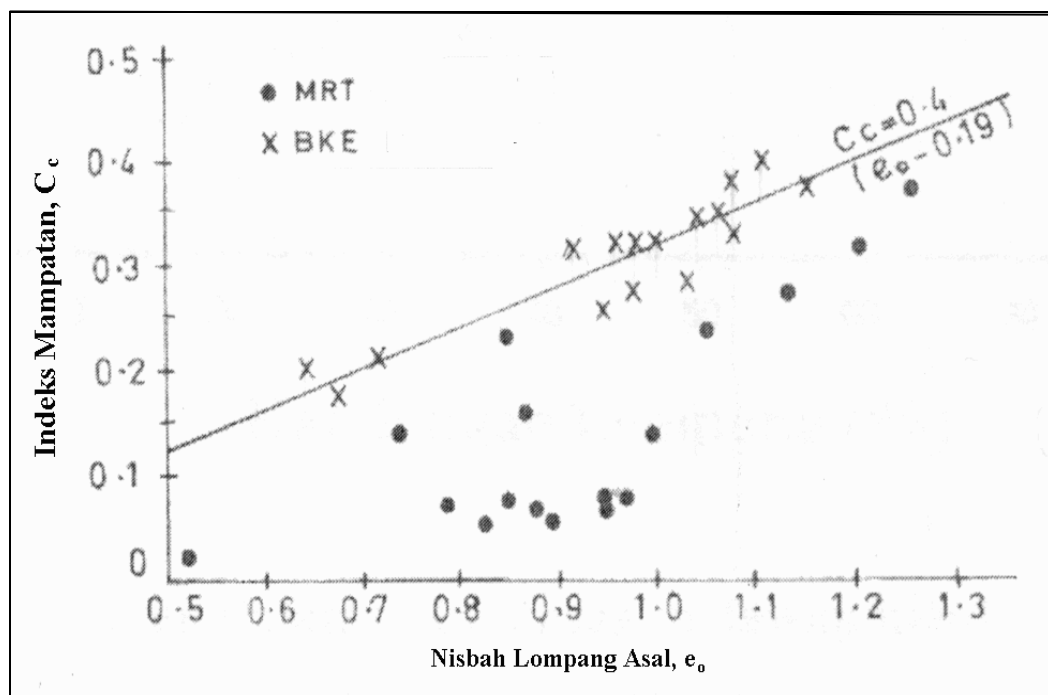
Rajah 2.38 : Korelasi indeks mampatan dengan had cecair (Winn, *et al.*, 2001)



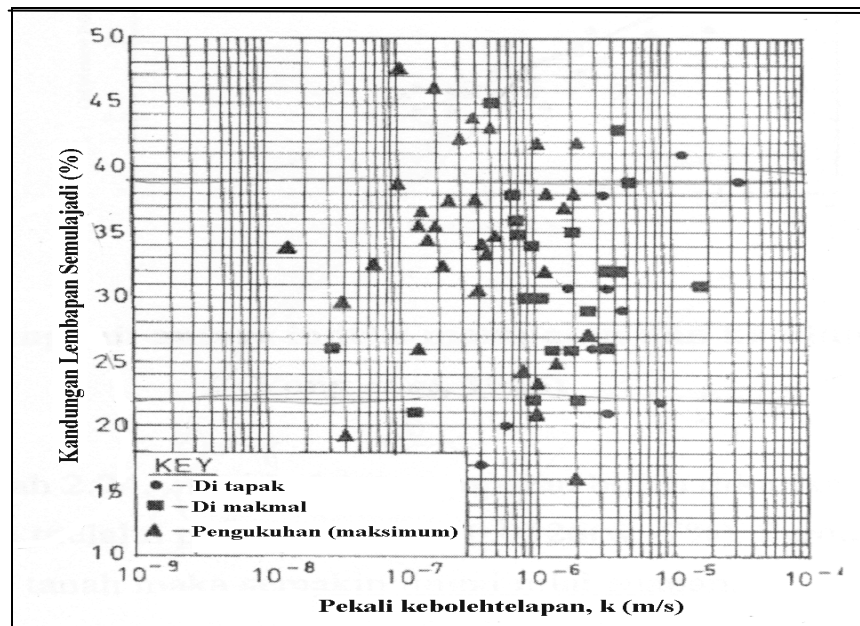
Rajah 2.39 : Korelasi indeks mampatan dengan nisbah lompong asal
(Winn, *et al.* ,2001)



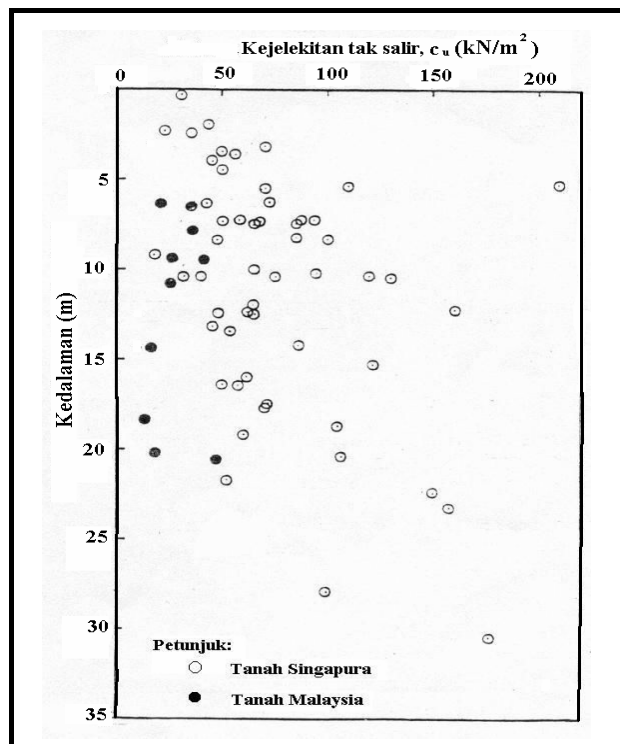
Rajah 2.40 : Korelasi antara indeks mampatan dan kandungan lembapan semulajadi (Yong, *et al.*, 1985)



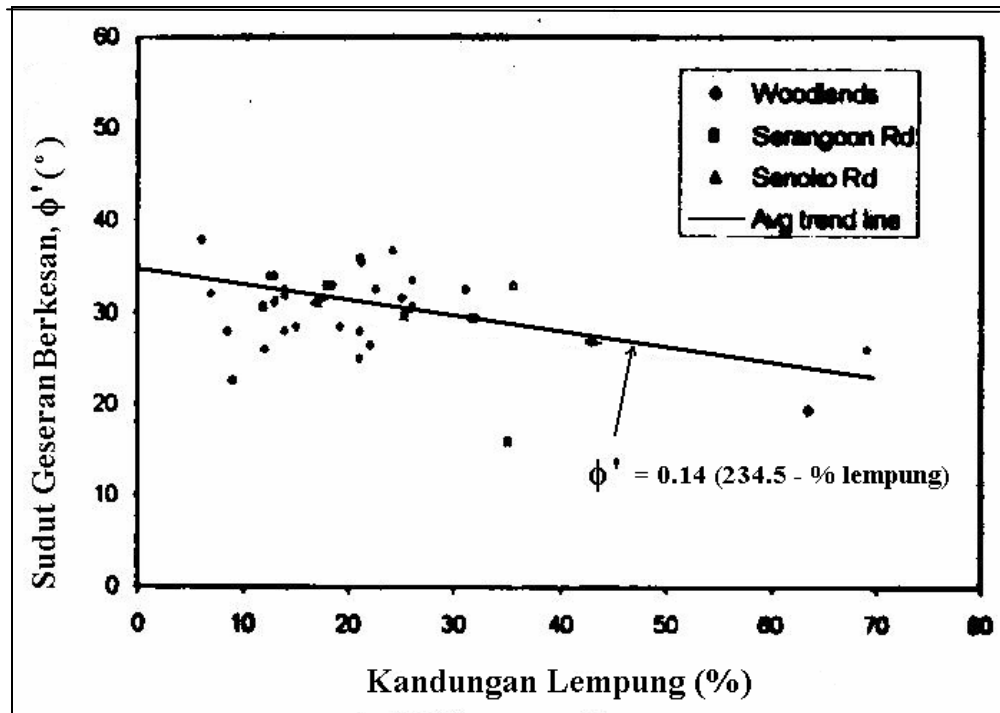
Rajah 2.41 : Korelasi antara indeks mampatan dan nisbah lompang asal (Yong, *et al.*, 1985)



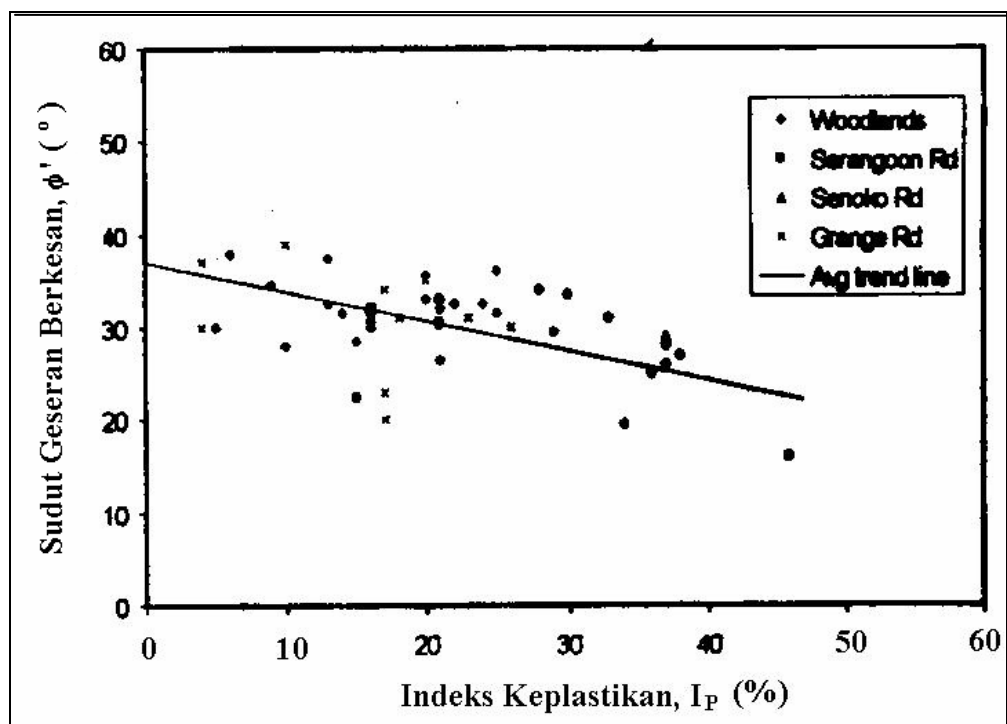
Rajah 2.42 : Korelasi kandungan lembapan dengan pekali kebolehtelapan (Poh, *et al.*, 1985)



Rajah 2.43 : Kejelekitan tak bersalir berbanding kedalaman (Todo & Pauzi, 1989)



Rajah 2.44 : Sudut geseran dalaman berkesan melawan kandungan lempung
(Winn, *et al.*, 2001)



Rajah 2.45 : Sudut geseran berkesan melawan indeks keplastikan
(Winn, *et al.*, 2001)

BAB III

PERALATAN UJIKAJI MAKMAL

3.1 Pengenalan

Program ujikaji makmal adalah melibatkan penentuan ciri-ciri indeks tanah, ujian pengukuhan satu dimensi, ujian tiga paksi pengukuhan tak tersalir dengan pengukuran tekanan air liang, ujian kimia, mineralogi dan mikrostruktur. Bab ini menerangkan peralatan utama yang digunakan dalam ujikaji-ujikaji makmal ini. Pensampel tiub berdinding nipis dan pensampel Mazier telah digunakan untuk mendapatkan sampel tak terganggu. Ciri-ciri dan dimensa pensampel yang digunakan adalah mengikut piawaian seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5 dan Rajah 2.6.

3.2 Ciri-ciri Indeks

3.2.1 Peralatan Analisis Taburan Zarah

Ujikaji menentukan taburan saiz zarah menggunakan kaedah ayakan basah digunakan kerana tanah baki mengandungi kandungan bahan halus yang agak tinggi. Peralatan piawai yang digunakan adalah berpandukan BS 1377 : Part 2 : 1990 fasal 9.2. Beberapa saiz ayakan yang sesuai telah dipilih iaitu 14 mm, 10 mm, 5 mm, 1.18 mm, 600 μm , 425 μm , 212 μm , 75 μm , dan 63 μm bagi penentuan taburan saiz zarah yang lebih besar daripada 63 μm seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.1. Bagi

penentuan taburan saiz zarah yang lebih kecil daripada 63 μm , kaedah hidrometer digunakan berpandukan BS 1377 : Part 2 : 1990 fasal 9.5. Rajah 3.2 menunjukkan hidrometer yang digunakan di dalam ujikaji makmal.

3.2.2 Peralatan Penentuan Had Atterberg

Had-had Atterberg yang ditentukan adalah had cecair dan had plastik. Had cecair ditentukan menggunakan kaedah penusukan kon dengan radas piawai seperti yang ditentukan dalam BS 1377 : Part 2 : 1990 fasal 4.3.2, sementara had plastik menggunakan radas piawai seperti yang ditentukan dalam BS 1377 : Part 2 : 1990 fasal 5.3.2. Rajah 3.3 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk penentuan had cecair dan had plastik.

3.2.3 Peralatan Ujian Graviti Tentu

Graviti tentu zarah tanah ditentukan menggunakan kaedah piknometer kecil seperti yang diterangkan dalam BS 1377: Part 2 : 1990 fasal 8.3.3. Radas yang digunakan ditunjukkan dalam Rajah 3.4.

3.3 Pengukuhan Satu Dimensi

Peralatan oedometer dari jenis cincin tetap digunakan bagi ujian pengukuhan satu dimensi berpandukan kaedah yang dinyatakan dalam BS 1377: Part 5 : 1990 fasal 3.2. Rajah 3.5 menunjukkan susunan peralatan oedometer yang digunakan dan Rajah 3.6 pula menunjukkan keratan rentas oedometer tersebut.

3.4 Sistem Digital Geoteknik (GDS)

Kekuatan ricih tanah ditentukan menggunakan Sistem Digital Geoteknik (GDS) di mana ianya terdiri daripada tiga pengawal tekanan digital, satu tekanan digital antara muka (DPI) dan sel tiga paksi yang disambungkan pada komputer seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.7.

GDS adalah satu sistem pengawal komputer bagi ujian tiga paksi berdasarkan kepada sel laluan tegasan Bishop dan Wesley (Menzies, 1988). Sel tersebut disambungkan kepada komputer melalui mikropemproses yang mengawal gerakan hidraulik yang dinamakan pengawal tekanan digital. Pengawal tekanan digital dapat mengatur tekanan dan perubahan isipadu air yang dibekalkan kepada sel dengan tepat bagi mengawal tegasan paksi, tekanan sel dan tekanan balik. Perisian GDSLAB Versi 2 digunakan bagi membolehkan ujian dijalankan menggunakan arahan komputer serta merekod data-data ujikaji.

3.4.1 Pengawal Tekanan Digital

Pengawal tekanan digital GDS adalah mikropemproses yang mengawal gerakan hidraulik bagi mencapai tekanan atau perubahan isipadu yang ditetapkan. Rajah 3.8 menunjukkan salah satu contoh pengawal tekanan digital yang digunakan dalam ujikaji. Pengawal tekanan digital GDS merupakan peralatan yang memberikan sumber tekanan yang tetap di mana ia boleh menggantikan sumber tekanan makmal tradisional seperti turus merkuri, udara termampat, minyak terpum dan sebagainya. Ia juga merupakan sebuah tolok perubahan isipadu yang dapat memberi bacaan sehingga 1 mm^3 atau lebih baik. Oleh itu, pengawal tekanan digital boleh digunakan di dalam makmal geoteknik sebagai sumber am tekanan dan juga tolok perubahan isipadu. Peranti ini bukan sahaja sesuai sebagai sumber tekanan balik tetapi juga boleh mengukur perubahan dalam isipadu spesimen ujian. Sebagai tambahan, kelengkapan ini boleh diprogramkan melalui panel pengawalnya sendiri bagi menanak, memberikan tekanan dan perubahan isipadu sejajar dengan masa. Ini bermakna, peranti ini juga sesuai digunakan untuk ujian kebolehtelapan melalui

kadar aliran yang tetap. Dalam kajian ini, pengawal tekanan digital disambungkan kepada komputer, supaya ianya boleh dikawal secara terus melalui komputer.

Sel tekanan antara muka adalah panel pengawal yang mengandungi paparan cecair kristal (LCD) sebanyak 40 huruf dan 16 panel kekunci sentuh. Paparan dibahagikan kepada tiga bahagian. Bahagian pertama menunjukkan paparan tekanan semasa pada bahagian kiri. Bahagian kedua pula digunakan untuk menghantar maklumat dan memaparkan maklumat yang dimasukkan. Bahagian ketiga pula menunjukkan perubahan isipadu semasa yang terletak di sebelah kiri paparan. 16 panel kekunci sentuh digunakan untuk memasukkan sasaran tekanan, sasaran isipadu dan tanjakan.

Cecair (air ternyah udara) di dalam silinder ditekan dan dimampatkan oleh pergerakan omboh di dalam silinder. Omboh tersebut digerakkan melalui skru bebola yang berputar dalam nat bebola oleh motor elektrik dan kotak gear yang bergerak melurus di atas gelang sar bola. Tekanan di ukur oleh pengesan. Rajah 3.9 menunjukkan rajah skematik pengawal tekanan digital.

3.4.2 Sel Tiga Paksi

Sel mampatan tiga paksi adalah sel gerakan hidraulik yang boleh menempatkan spesimen yang berdiameter 38 mm dan 50 mm. Sel ini adalah berdasarkan kepada rekabentuk sel tiga paksi Bishop dan Wesley yang telah dibangunkan di Imperial College di London bagi menjalankan ujian laluan tegasan. Rajah 3.10 menunjukkan sel tiga paksi yang digunakan dalam ujikaji. Daya paksi dikenakan pada spesimen melalui omboh yang diberikan tekanan dari bahagian bawah sel. Omboh ini digerakkan ke atas dan ke bawah secara menegak dan lurus oleh cecair ternyah udara yang terletak di dalam ruang kebuk bawah. Omboh tersebut dilekatkan kepada sel menggunakan dua gegendang beralun Bellofram. Sel tiga paksi yang digunakan adalah bersaiz 800mm x 300mm dan mempunyai berat 35 kgf. Tekanan maksimum sel ini boleh mencapai sehingga 1700 kPa. Dalam kajian ini, spesimen yang berdiameter 38 mm telah digunakan.

Penyambung kunci gerumit tahan karat 3.17 mm pada sel tiga paksi dapat memudahkan sambungan di antara sel tiga paksi dengan ketiga-tiga pengawal tekanan digital. Salur air liang yang terletak di dalam kebuk bawah disambungkan oleh satu tiub kecil kepada transducer yang terletak di sisi sel tiga paksi. Skema kedudukan sel tiga paksi ditunjukkan dalam Rajah 3.11.

3.4.3 Tekanan Digital Antara Muka (DPI)

Tekanan air liang ditentukan menggunakan peralatan yang dinamakan tekanan digital antara muka (DPI). Penggunaannya adalah sama dengan pengawal tekanan atau isipadu digital tetapi transducer tekanan disambungkan secara terus ke dalam saluran air liang. Ianya adalah pengawal mikropemproses bagi pengukuran tekanan cecair. Rajah 3.12 menunjukkan tekanan digital antara muka yang digunakan dalam GDS.

LCD digunakan bagi memaparkan tekanan semasa, maklumat yang dimasukkan dan secara umum untuk memaparkan pesanan. Ia juga dilengkapi dengan 16 kekunci tekan bagi tujuan menentukan datum pengukuran tekanan dan menentukan alamat, dan sebagainya.

3.4.4 Perisian GDSLAB Versi 2

GDSLAB adalah satu program yang mengawal serta mendapatkan data-data ujikaji makmal geoteknik. Rajah 3.13 menunjukkan perisian GDSLAB Versi 2 yang digunakan dalam ujikaji. Di antara ciri-ciri perisian GDSLAB Versi 2 adalah:

- (i) Ia direka bentuk bagi membolehkan ianya sesuai kepada semua kelengkapan yang disambungkan kepada komputer.
- (ii) Modul ujikaji khusus boleh dipilih berdasarkan ujikaji yang dikehendaki mengikut piawaian antarabangsa. Di antara ujikaji

yang boleh dijalankan menggunakan perisian GDSLAB adalah ujian penepuan dan pengukuhan, ujian tiga paksi berdasarkan kepada BS 1377 (termasuk ujian CU, UU dan CD), pengelogan pengukuhan oedometer, ujian tiga paksi lanjut, modul laluan tegasan dan modul ujian Ko.

- (iii) Boleh mengubah paparan graf semasa ujikaji.
- (iv) Boleh memilih format untuk penyimpanan data.

Penggunaan perisian ini adalah dengan merujuk kepada buku panduan GDSLAB (2000) yang diterbitkan oleh GDS Instruments Ltd. (2000).

3.5 Kajian Mineralogi dan Kimia

Secara umumnya, berbagai-bagai kaedah boleh dijalankan dalam pengujian mineralogi, mikrostruktur dan komposisi kimia tanah. Walaubagaimanapun, dalam kajian ini, penulis telah memilih kaedah yang sesuai dalam melaksanakan ujikaji makmal. Kaedah-kaedah pengujian mineralogi dan mikrostruktur adalah mengikut Mitchell (1993) yang menggunakan peralatan Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM), Pendarflor Sinar-X (XRF) dan Pembelauan Sinar-X (XRD). Manakala, bagi pengujian komposisi kimia pula penulis telah mengikut kaedah piawaian BS 1377 dan Head (1983), peralatan kajian seperti XRF, Spektrofotometer DR4000 dan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

Dalam ujikaji-ujikaji makmal yang dijalankan, penulis telah menggunakan banyak peralatan utama. Peralatan-peralatan utama yang digunakan seperti SEM, XRF, XRD, AAS dan Spektrofotometer DR4000. Segala kerja-kerja kalibrasi dan kejituan bacaan peralatan tersebut telah dijalankan oleh pengendali dan pembantu makmal. Ini adalah kerana peralatan tersebut adalah sangat sensitif dan memerlukan kemahiran dan juga kepakaran yang tinggi. Namun begitu, data-data kalibrasi pengujian sampel yang menggunakan peralatan SEM, XRF, XRD, AAS dan Spektrofotometer DR4000 diberikan dalam Khairul (2002).

3.5.1 Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)

SEM merupakan satu peralatan yang menggunakan elektron berbanding cahaya untuk membentuk imej. Banyak kebaikan diperolehi dalam menggunakan peralatan ini berbanding dengan menggunakan mikroskop cahaya dalam pengujian sampel. SEM mempunyai banyak ruang untuk membolehkan banyak sampel dianalisis dan diuji pada masa yang sama. Rajah 3.14 menunjukkan peralatan SEM. SEM ini mampu untuk menghasilkan imej yang mempunyai darjah peleraian yang besar, yang mana mampu untuk menghasilkan pembesaran yang tinggi. Penyediaan sampel bagi tujuan pengujian sampel adalah mudah memandangkan sampel tersebut hanya perlu berada dalam keadaan konduktif. Rajah 3.15 menunjukkan peralatan penyalut percitan yang digunakan untuk menyalut sampel dengan emas supaya berada dalam keadaan konduktif. Manakala, Rajah 3.16 dan 3.17 masing-masing menunjukkan kebuk sampel dan tempat sampel diletakkan untuk tujuan pengujian. Kombinasi peralatan SEM ini adalah pembesaran yang besar, fokus kedalaman dan ketebalan sampel yang dalam, peleraian yang baik dan menganalisis terhadap sampel berdasarkan mineralogi, mikrostruktur dan mikrofabrik yang tepat menjadikan SEM ini merupakan satu peralatan yang popular dan digunakan secara meluas.

Rajah 3.18 menunjukkan prinsip kerja yang digunakan di dalam sistem peralatan SEM. Apabila rasuk elektron primer menghentam permukaan sampel, ia mengakibatkan sampel memancar dan mengeluarkan elektron sekunder iaitu elektron yang bercas negatif. Maka, di dalam kebuk SEM, elektron-elektron sekunder yang dilepaskan akan ditarik kepada cas positif pada bahagian elektrod pengesan. Semasa cas-cas ini tarik-menarik di antara satu sama lain, perlanggaran akan berlaku dan partikel-partikel gas terhasil dalam emisi lebihan elektron dan pengionan oleh molekul-molekul gas. Pertambahan dalam jumlah yang tinggi ini akan menguatkan lagi isyarat elektron sekunder asal iaitu yang terdapat dalam sampel yang diuji. Cas-cas positif akan mengecas ion-ion gas yang mana ia tertarik kepada cas-cas negatif yang dikeluarkan oleh sampel yang diuji.

Apabila jumlah cas-cas sekunder dihasilkan dengan jumlah yang tinggi, gas-gas yang dihasilkan juga bertambah. Selain itu juga, cas-cas sekunder yang dihasilkan adalah baik dengan keadaan sampel yang sangat konduktif. Ini

menyebabkan isyarat yang tinggi akan menyebabkan keamatan mikroimej yang dihasilkan adalah jelas. Jika jumlah elektron sekunder yang dihasilkan adalah sedikit, maka isyarat yang kecil akan menyebabkan keamatan yang kurang.

3.5.2 Pendarflor Sinar – X (XRF)

Merujuk kepada Hamzah (1997a), XRF adalah sejenis instrumentasi yang mana unsur-unsur dalam sampel dikenalpasti (sejenis analisis kualitatif) dan/atau sejenis alat untuk menentukan kepekatan sesuatu bahan (sejenis analisis kuantitatif) yang menggunakan sifat-sifat sinar-X bahan masing-masing. Dalam sesuatu bahan itu, sinar-X diterbitkan daripada saling tindak elektron bertenaga tinggi dengan atom. Elektron yang mempunyai tenaga yang tinggi akan mengalami awapecutan oleh elektron atom yang dibedil lalu melepaskan tenaga yang tinggi akan mengalami awapcutan oleh elektron atom yang dibedil lalu melepaskan tenaga. Maka, tenaga yang dilepaskan itu dikenali sebagai sinar-X. Rajah 3.19 menunjukkan sebuah peralatan XRF yang digunakan dalam pengujian sampel.

Sebuah peralatan XRF, biasanya mengandungi janakuasa, tiub, kolimator, hablur pencerakin, pembilang dan pengesan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.20. Janakuasa berfungsi dalam menyediakan keupayaan tinggi bagi memanaskan filamen dalam tabung sinar-X. Tabung sinar-X pula akan menghasilkan sinar-X primer yang digunakan untuk menguja sampel. Manakala, kolimator bertugas dalam meluruskan sinar-X sekunder daripada sampel.

Hablur pencerakin pula akan melepaskan sinar-X yang diterima ke pembilang sinar cirian untuk dianalisis. Maka, pembilang akan menghantar isyarat sinar-X ke bahagian pengesan dan seterusnya pengukur elektronik, mikropemprosesan dan komputer akan menterjemahkan segala bentuk sinar-X yang diterima untuk mengenalpasti maklumat tersebut.

Rajah 3.21 menunjukkan kaedah menganalisis sinar-X dalam XRF. Sebuah hablur penganalisis yang mempunyai sinar-X ditujukan kepada pembilang. Sinar-X

yang mengandungi pelbagai panjang gelombang akan mempunyai satu panjang gelombang yang sama apabila mengenai pembilang tersebut. Maka, ini akan mematuhi hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan satu persamaan yang mengaitkan panjang gelombang sinar-X yang menuju kepada permukaan hablur, sudut tuju dan satah-d hablur berkenaan (Hamzah, 1997a). Sinar-X yang dilepaskan pada bahagian pengesan pula akan menghasilkan satu garis cirian, ciri-ciri hablur dan sudut tuju yang bersesuaian dipilih dalam memenuhi prinsip Hukum Bragg tersebut. Ini dapat diperhatikan pada Rajah 3.21. Hukum Bragg yang dinyatakan adalah:

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (3.1)$$

di mana,

n = integer

λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antara satah

θ = sudut Bragg

3.5.2.1 Had Pengesanan XRF

Had pengesanan bagi sesuatu alat ditakrifkan sebagai kepekatan paling rendah yang mampu dikesan oleh alat berkenaan. Maka, had pengesanan teknik XRF adalah wajar dirumuskan sebagai ‘...serendah beberapa bahagian per juta...’. Dalam pada itu juga, semua analisis yang dijalankan mempunyai unit peratus berat yang mana 1 % berat pada sesuatu unsur oksida dalam sampel adalah sama dengan 10,000 bahagian per juta (bpj).

3.5.2.2 Teknik dan Keadaan Eksperimen bagi Analisis XRF

Alat XRF yang digunakan adalah berjenama Philips PW1480/20 yang automatik sepenuhnya (Rajah 3.19). Kaedah graf kalibrasi telah digunakan di mana 10 lengkung kepekatan-keamatan dibina, satu bagi setiap unsur. Graf-graf kalibrasi ini

dibina menggunakan 18 bahan rujukan terperaku (*certified reference materials, CRM*) terdiri daripada pelbagai batuan, mineral, bijih, tanah, sedimen, batu-bata, dan lain-lain. Adalah dipercayai matriks CRM ini hampir sama dengan matriks bahan yang telah dianalisis, dengan itu hasil yang jitu dapat diharapkan.

3.5.3 Pembelauan Sinar – X (XRD)

Merujuk kepada Hamzah (1997b), XRD adalah sebuah teknik instrumentasi yang mana fasa-fasa berhablur dapat dikenalpasti dengan cara melihat ciri belauan (biasan) bahan berhablur tersebut terhadap foton sinar-X yang ditujukan kepadanya. Seperti juga XRF, XRD ini juga menggunakan Hukum Bragg sebagai prinsip asas kerja.

Pengaturan dalaman atom-atom di dalam sesuatu bahan berhablur adalah unik bagi bahan tersebut, oleh itu pola belauan (biasan) sinar-X yang ditujukan kepadanya akan juga mempunyai sifat yang unik. Unik yang dimaksudkan di sini adalah tidak ada dua bahan berbeza yang mempunyai corak belauan yang sama. Dalam pada itu juga, bahan dapat dikenalpasti secara membuat perbandingan corak pola belauannya dengan siri pola-pola beluan yang tertentu akan dapat menentukan jenis-jenis mineral yang hadir dalam sampel tersebut.

3.5.3.1 Prinsip Kerja Peralatan XRD

Rajah 3.22 menunjukkan gambarajah skema sebuah difraktometer yang terdapat dalam XRD. Komponen utama sesebuah difraktometer ialah janakuasa untuk membolehkan tabung sinar-X mengeluarkan sinar-X tuju, tabung sinar-X yang mengeluarkan sinar dengan panjang gelombang yang diketahui dan sebuah goniometer. Unit goniometer mengandungi pemegang sampel dan pengesan foton sinar-X. Rekabentuk kejuruteraan goniometer ini membolehkan sampel dan pengesan mengubah kedudukan secara harmonis supaya sinar-X tuju daripada tabung

sinar-X dapat dibiaskan kepada pengesan pada sebarang sudut tuju apabila syarat persamaan Hukum Bragg dipenuhi.

Dalam sesuatu sampel serbuk, ia mengandungi ratusan ribu butiran yang tersusun secara rawak. Pada setiap butiran tersebut mendedahkan satu atau lebih permukaan hablur. Ini dapat diperhatikan pada Rajah 3.23. Apabila elektron dialirkan kepada bahagian tertentu permukaan sampel, maka hablur tersebut akan mengalirkan atau membiaskan semula aliran elektron tersebut dengan ciri-ciri dan satah-d yang sama, dan aliran ini dibiaskan kepada bahagian pengesan. Maka, persamaan Hukum Bragg adalah dipatuhi yang mana sudut tuju iaitu pergerakan awal elektron yang dikenakan pada permukaan hablur, dibiaskan semula dengan panjang gelombang sama. Maka, pada bahagian pengesan, ia akan merekod sudut-sudut tuju (2θ) apabila pembiasan seperti ini berlaku.

Rajah 3.24 menunjukkan orientasi satah hablur dalam peralatan XRD. Pada rajah tersebut, suatu orientasi yang mana satah hablur dengan satah-d yang tertentu sedang membiaskan sinar-X kuprum K_{α} dengan panjang gelombang 1.5418 Å kepada bahagian pengesan. Pembiasan ini boleh terjadi disebabkan oleh sudut tuju sinar-X, panjang gelombang sinar-X tuju dan juga satah-d bahan terhablur tersebut pada permukaan hablur berkenaan adalah sesuai dengan persamaan Bragg. Dalam penentuan fasa berhablur pula, parameter yang diketahui ialah panjang gelombang sinar-X tuju dan sudut tuju semasa pembiasan berlaku. Dengan menggunakan dua parameter ini, satah-d bahan dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Bragg. Nilai-nilai pada satah-d bahan dibandingkan dengan satah-d piawai bagi tujuan mengenalpasti sesuatu jenis mineral yang terdapat dalam sampel.

Bagi kejituan analisis peralatan XRD, kaedah ini adalah jitu dan dapat mengenalpasti mineral-mineral yang wujud lebih daripada 1 % yang terdapat di dalam sampel (Hamzah, 1997b). Walaubagaimanapun, tiada sampel mineral yang wujud dalam jumlah yang kecil ini dapat dikenalpasti disebabkan ia bercampur dengan mineral yang wujud secara banyak. Ini adalah disebabkan oleh puncak-puncak belauan bagi mineral-mineral yang banyak itu akan bertindan atau terlindung di sebalik puncak-puncak belauan mineral-mineral yang sedikit ini.

3.5.3.2 Keadaan Eksperimen bagi Analisis XRD

Bagi tujuan analisis ini, difraktometer jenama Siemens D-5000 digunakan. Antara lain-lain sifat instrumentasi ini adalah (Hamzah, 1997b):-

(a)	Punca sinaran	:	Cu K-alfa, $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$
(b)	kV	:	40
(c)	mA	:	30
(d)	Halaju pengimbasan	:	$0.02^\circ 2\theta/\text{saat}$, bersamaan $1.2^\circ 2\theta/\text{minit}$
(e)	Sela pengimbasan	:	2° hingga 60°
(f)	Masa pengimbasan	:	48.3 minit

Rajah 3.25 dan Rajah 3.26 menunjukkan peralatan XRD, manakala Rajah 3.27 pula menunjukkan kedudukan sampel yang diletakkan dalam peralatan XRD.

3.5.4 Spektrofometer Serapan Atom (AAS)

AAS merupakan satu peralatan yang dapat mengukur kehadiran sesuatu jenis kepekatan kation dalam bentuk cecair. Kation-kation yang dapat diukur adalah seperti aluminium, ferum, silikon, natrium, kalium, magnesium, kalsium dan sebagainya. Rajah 3.28 menunjukkan peralatan AAS yang digunakan dalam kajian.

Unsur-unsur kation yang terdapat dalam sampel apabila diuji dengan peralatan AAS ini, akan menyerap cahaya ultraungu apabila ia diuji oleh haba. Pada setiap unsur kation tersebut, ia mempunyai ciri-ciri panjang gelombang yang tersendiri yang mana ia akan diserap apabila dipanaskan. Apabila ujikaji dijalankan, AAS akan memfokuskan rasuk yang terdapat pada cahaya ultraungu di dalam sampel pada panjang gelombang melalui pembakar dan seterusnya di dalam pengesan. Jika sesuatu kation hadir dalam sesuatu sampel tersebut, maka unsur kation tersebut akan menyerap cahaya yang terdapat pada haba pembakar dan mengurangkan keamatan yang terdapat di dalam sampel yang diuji. AAS adalah suatu alat yang mengukur perubahan keamatan yang terdapat di dalam sampel. Selepas unsur kation menyerap

cahaya, isyarat akan dihantar kepada bahagian pengesan dan seterusnya sistem pengkalan data komputer akan menukarkan isyarat tersebut daripada keamatan kepada serapan. Rajah 3.29 menunjukkan prinsip kerja asas dalam AAS.

Apabila kepekatan unsur di dalam sampel meningkat, maka serapan juga akan meningkat. Oleh itu, ketika ujikaji dijalankan untuk menentukan kepekatan sesuatu unsur kation, kalibrasi-kalibrasi terhadap unsur kation yang ingin dikenalpasti akan dilaksanakan terus.

Bagi prinsip kerja peralatan AAS, ia merupakan alat yang mengukur kepekatan unsur yang mana sampel-sampel yang hendak diuji dilarutkan dalam bentuk cecair. Dalam menguji kehadiran kepekatan unsur, sampel disemburkan kepada bahagian alur sempit pembakar panas. Cahaya daripada geronggang lampu ultraungu pada bahagian pembakar, mengandungi unsur-unsur yang diuji akan mengalir melalui bahagian pembakar yang sempit itu menuju ke bahagian pengesan ultraungu. Maka, pengesan ultraungu ini pula akan mengasingkan pancaran cahaya daripada geronggang lampu cahaya ultraungu itu. Sampel yang diuji yang mana dalam bentuk larutan, disembur kepada bahagian minyak dan kebuk campuran udara menyerap haba tersebut. Maka, apa yang berlaku adalah atom-atom yang terdapat dalam larutan sampel dibebaskan akibat daripada haba dan keadaan pengurangan. Jika atom-atom yang dibebaskan itu mempunyai unsur yang sama dengan geronggang lampu cahaya ultraungu, maka cahaya akan diserap. Darjah serapan adalah bergantung dengan jumlah kepekatan unsur yang terdapat di dalam larutan sampel.

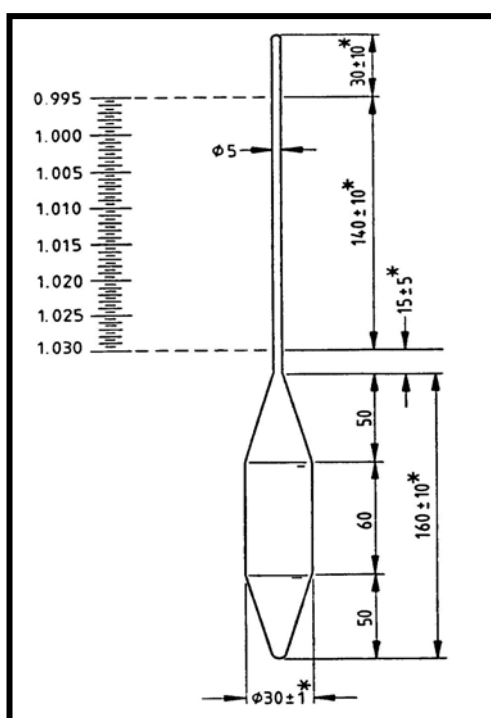
Keputusan-keputusan yang diperolehi, dibandingkan dengan larutan piawai yang mana penentuan kepekatan sesuatu unsur kation itu dapat dikenalpasti. Teknik-teknik penggunaan peralatan AAS ini mempunyai kebolehpercayaan dan kejituan yang tinggi.

3.5.5 Spektrofometer DR4000

Peralatan jenis ini beroperasi sebagai sebuah instrumentasi makmal mikropemprosesan. Ianya diprogramkan dengan jitu dan ditentukan bagi kebanyakan sampel-sampel yang dilarutkan dalam bentuk cecair. Ia dapat memenuhi keperluan menguji sesuatu unsur kation yang terdapat dalam larutan sampel, berkadar terus, memberikan bacaan serapan dalam bentuk digital dan peratus kepekatan. Penulis menggunakan peralatan ini sebagai satu alat untuk menguji kepekatan sulfat dan klorida berbanding menggunakan kaedah BS 1377 secara keseluruhannya disebabkan peralatan ini mempunyai darjah kebolehpercayaan dan kejituan yang tinggi. Rajah 3.30 menunjukkan peralatan yang digunakan dalam pengujian sampel. Peralatan ini mempunyai rasuk spektrofotometer tunggal dan menggunakan jeriji lalu berkembar pada bahagian monokromator yang berupaya menjejak panjang gelombang sesuatu unsur dalam julat 325 nm hingga 1000 nm. Kalibrasi-kalibrasi spesifikasi peralatan yang telah dijalankan dalam pengujian sampel ditunjukkan dalam Khairul (2002).



Rajah 3.1 : Peralatan analisis ayakan



(a)



(b)

Rajah 3.2 : Hidrometer yang digunakan bagi penentuan saiz zarah tanah yang halus



Rajah 3.3 : Peralatan penentuan had cecair dan had plastik



(a)

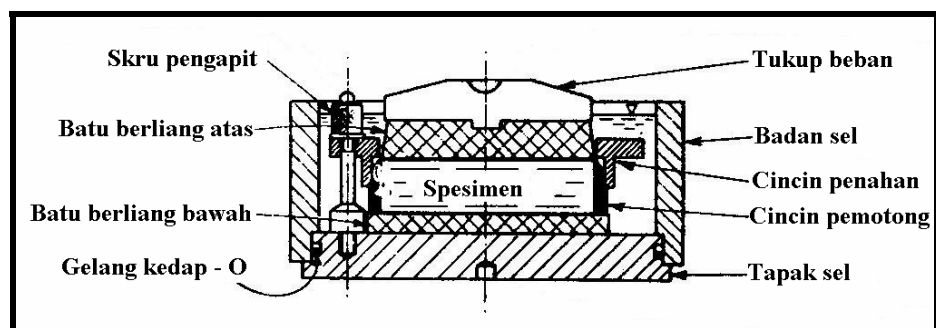


(b)

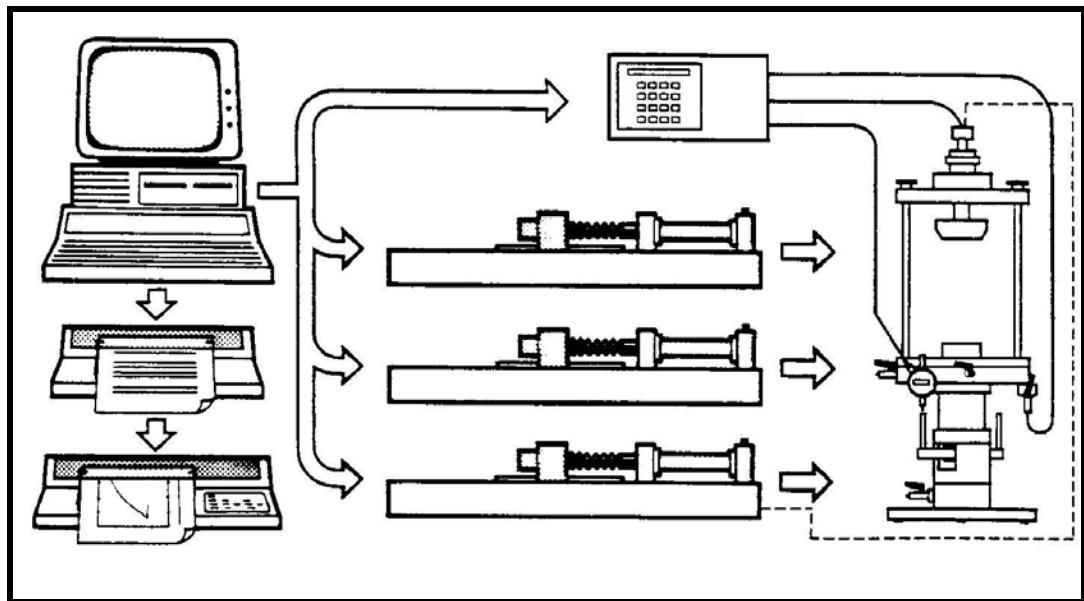
Rajah 3.4 : Peralatan ujikaji graviti tentu (a) botol piknometer (b) vakum bagi mengeluarkan gelembung udara



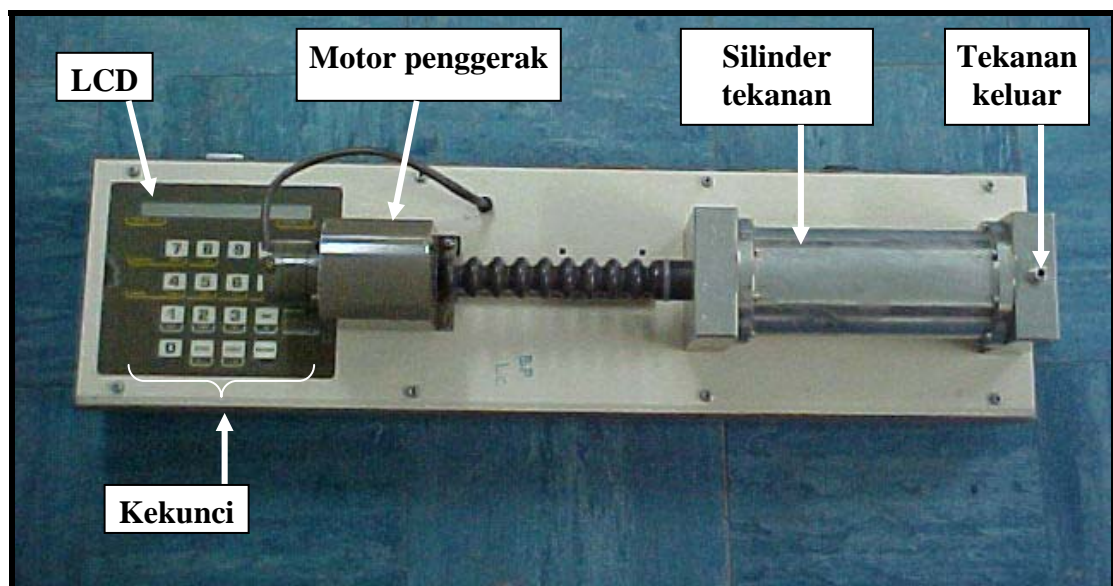
Rajah 3.5 : Susunan peralatan oedometer



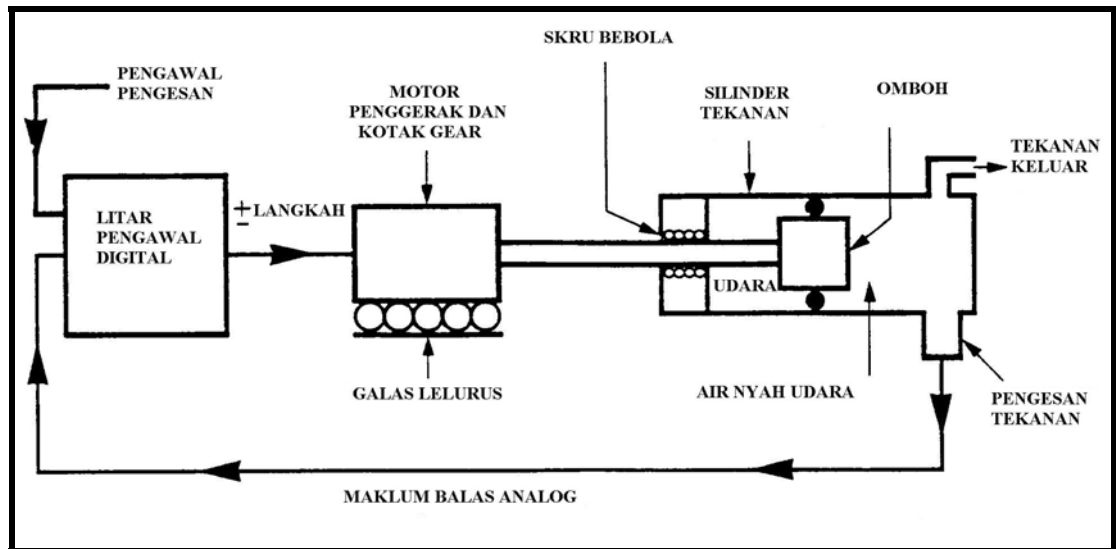
3.6 : Keratan rentas oedometer



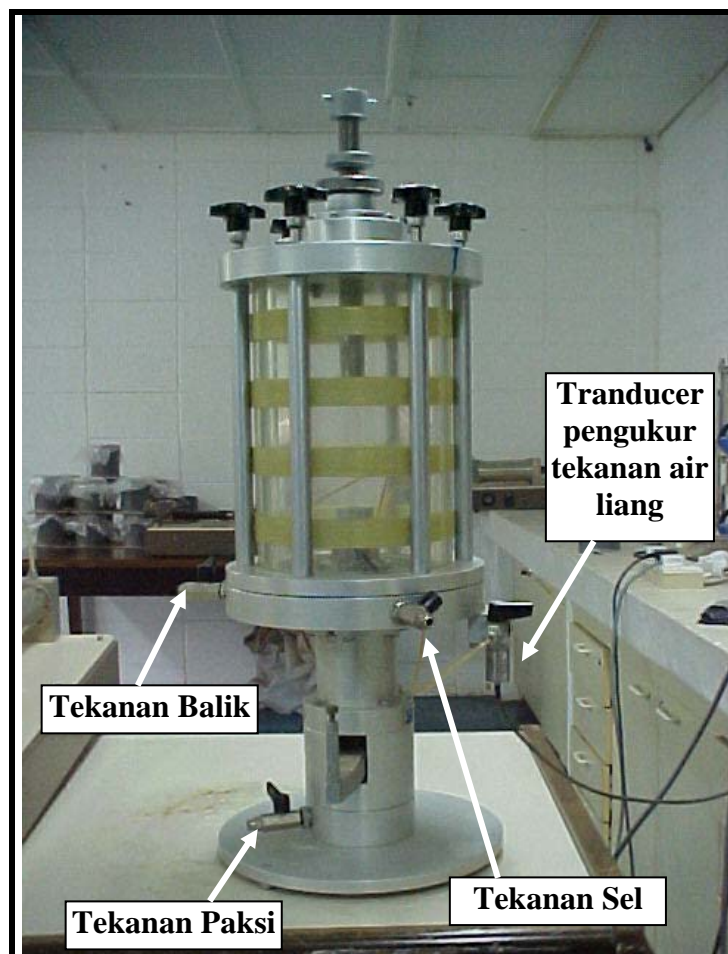
Rajah 3.7 : Gambarajah skematik peralatan GDS



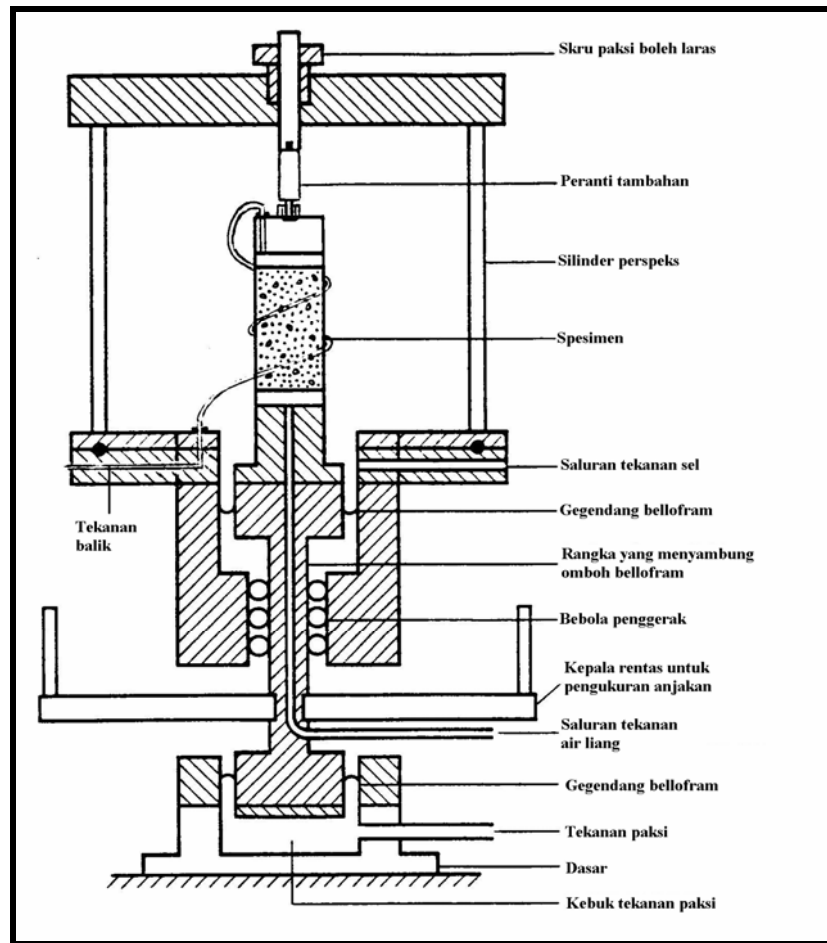
Rajah 3.8 : Pengawal tekanan digital



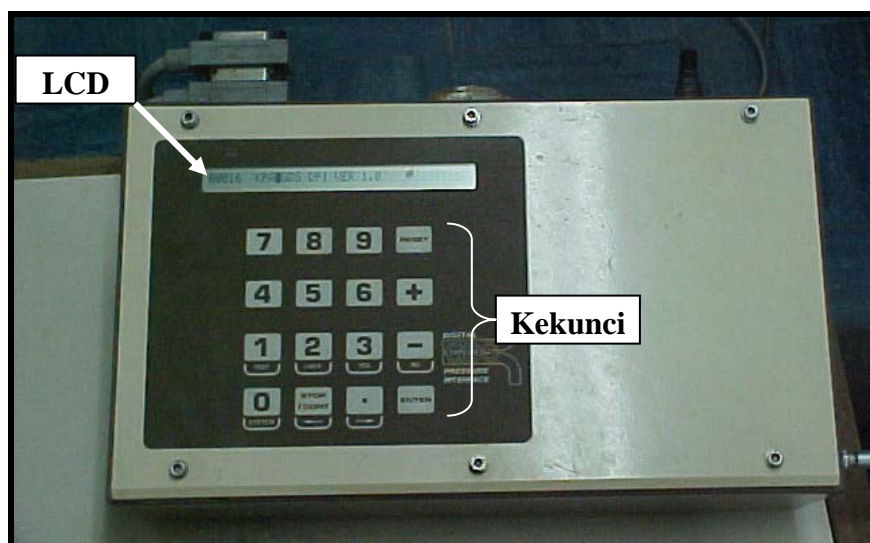
Rajah 3.9 : Kedudukan skema pengawal digital



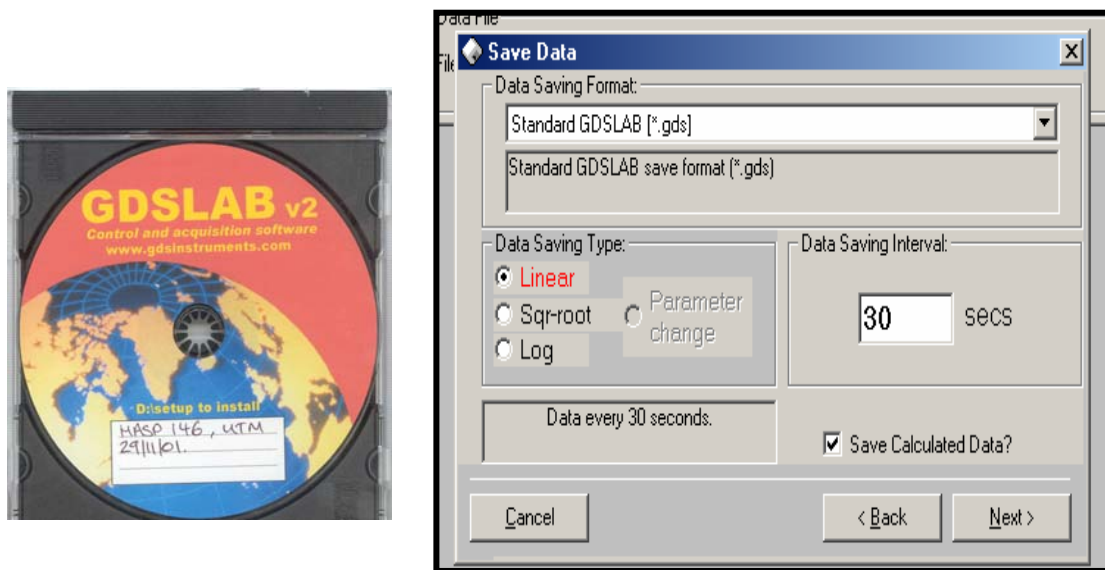
Rajah 3.10 : Sel tiga paksi



Rajah 3.11 : Gambarajah skema sel tiga paksi Bishop & Wesley



Rajah 3.12 : Tekanan digital antara muka



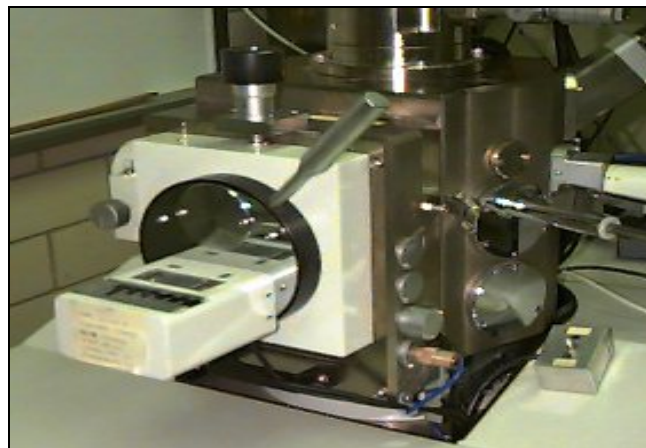
Rajah 3.13: Perisian yang digunakan dalam GDS



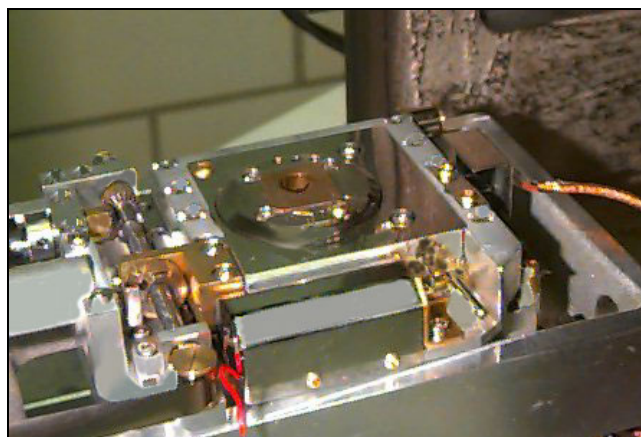
Rajah 3.14 : Peralatan mikroskop pengimbas elektron (SEM)



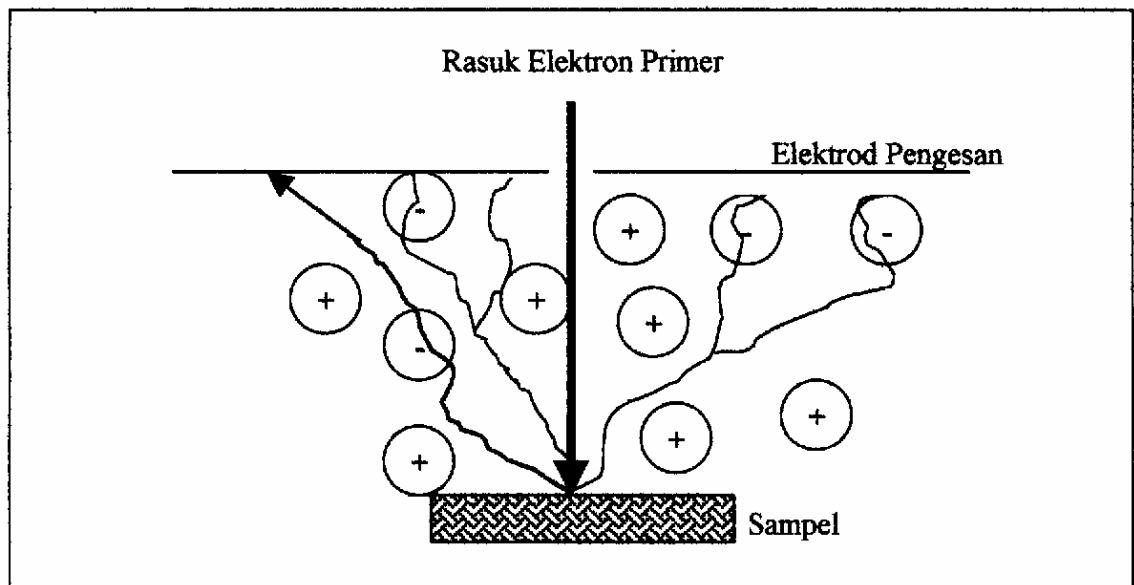
Rajah 3.15 : Peralatan penyalut percitan



Rajah 3.16 : Kebuk sampel



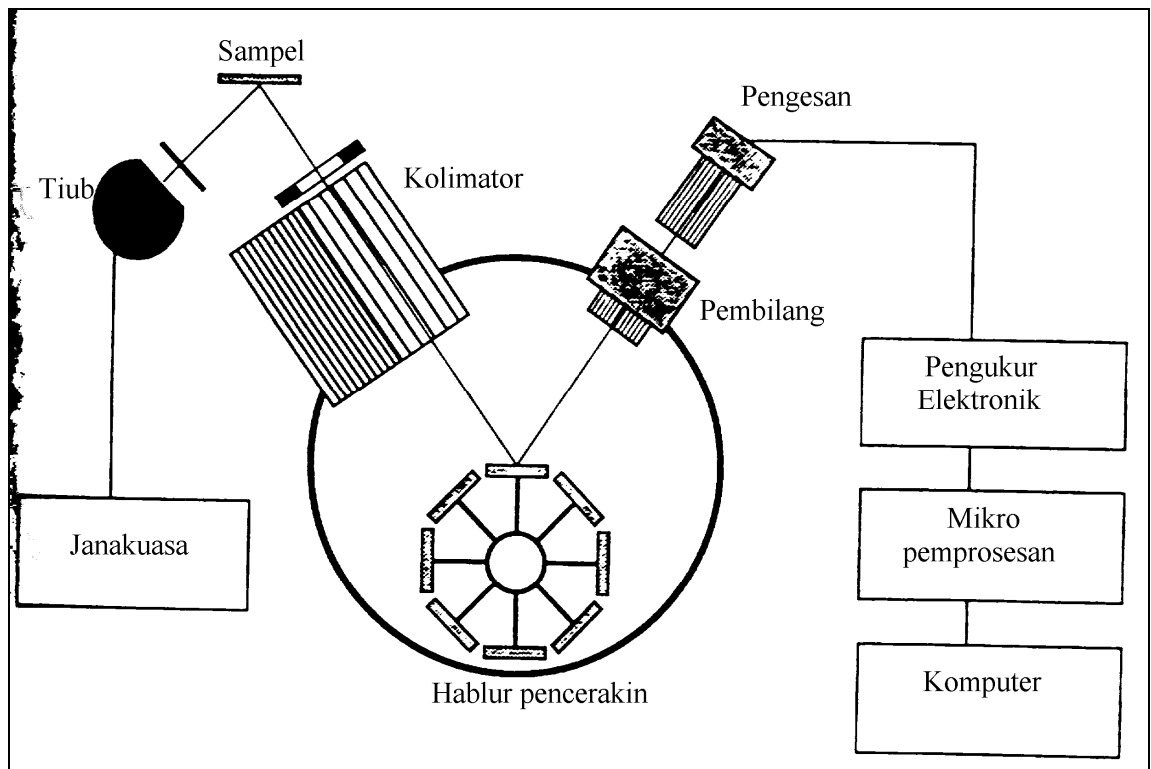
Rajah 3.17 : Pentas sampel diletakkan



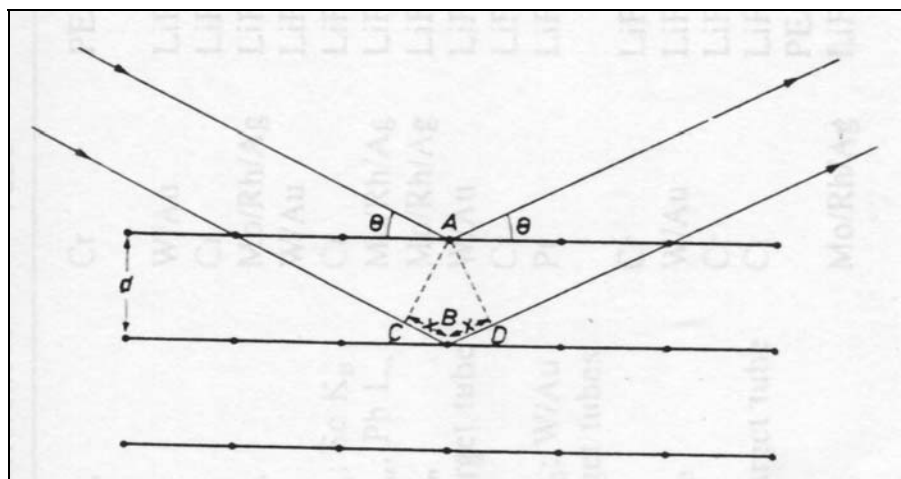
Rajah 3.18 : Prinsip kerja peralatan SEM



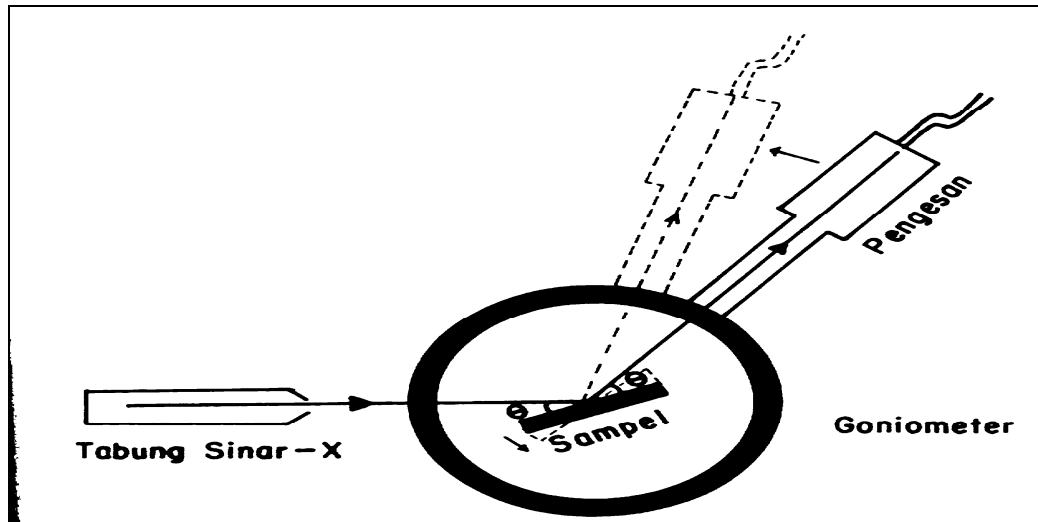
Rajah 3.19 : Peralatan pendarflor sinar-X (XRF)



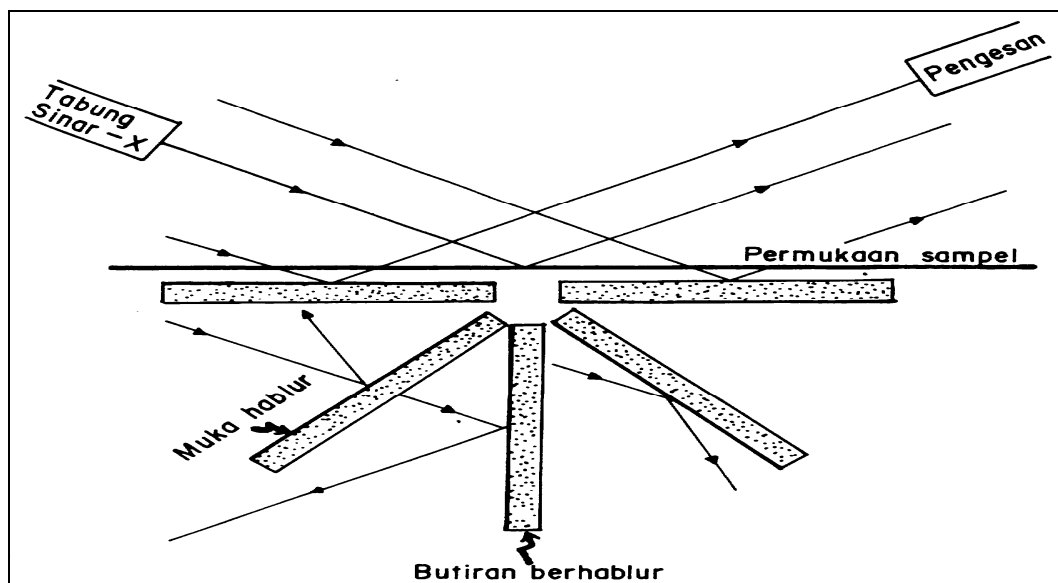
Rajah 3.20 : Susun atur pendarflor sinar-X (Hamzah, 1997a)



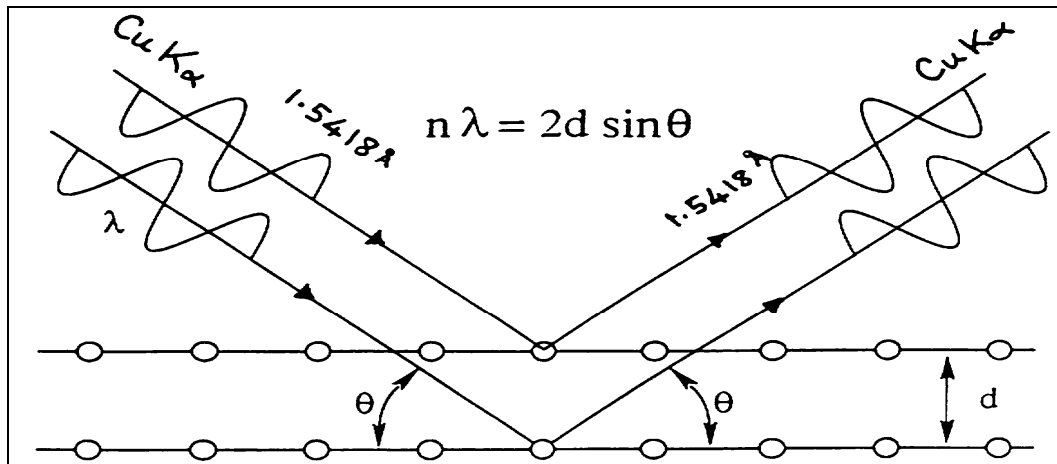
Rajah 3.21 : Cara kerja hablur penganalisis bagi pendarflor sinar-X (Hamzah, 1997b)



Rajah 3.22 : Gambarajah skema sebuah diffraktometer dalam XRD
(Hamzah, 1997b)



Rajah 3.23: Tindak balas sinar-X dengan sampel dalam XRD (Hamzah, 1997b)



Rajah 3.24 : Orientasi satah hablur dalam XRD (Hamzah, 1997b)



Rajah 3.25 : Peralatan pembelauan sinar-X



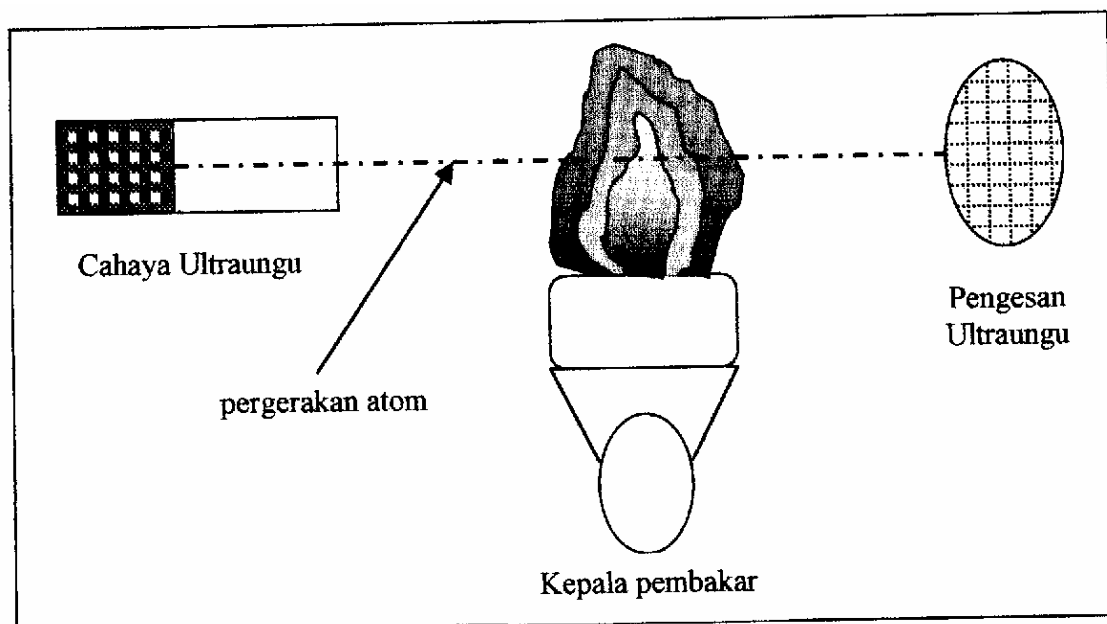
Rajah 3.26 : Sebahagian unit peralatan pembelauan sinar-X



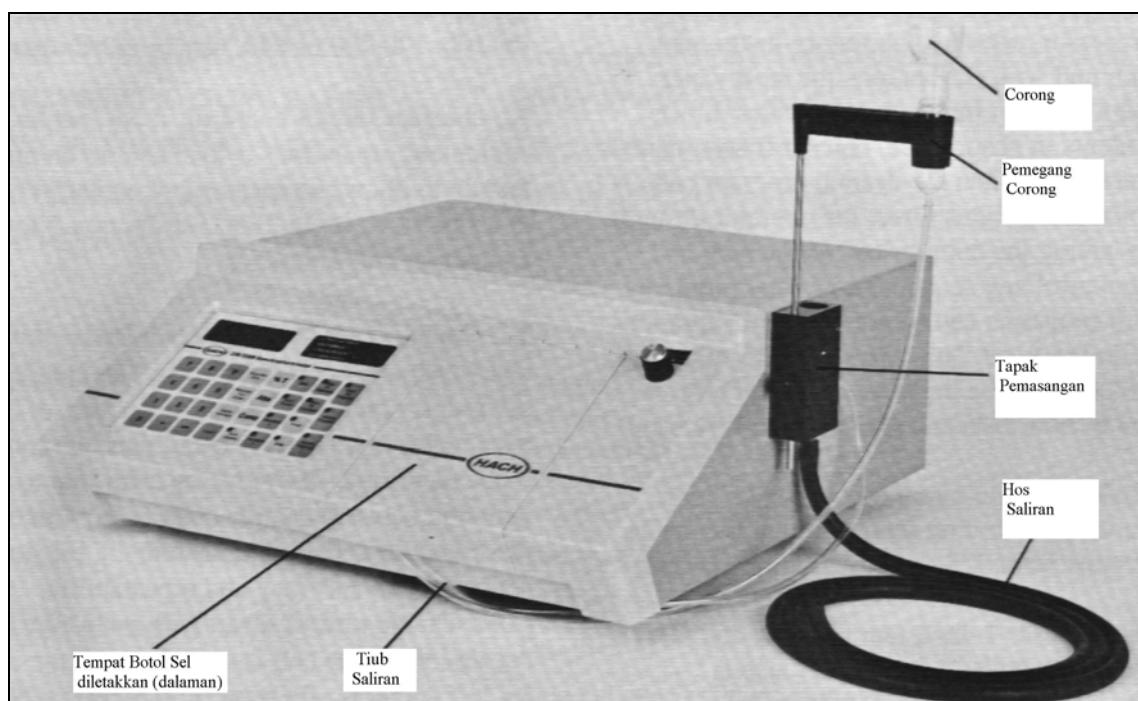
Rajah 3.27 : Kedudukan sampel di dalam peralatan pembelauan sinar-X



Rajah 3.28 : Peralatan spektrofotometer serapan atom (AAS)



Rajah 3.29 : Prinsip Kerja Peralatan AAS



Rajah 3.30 : Peralatan Spektrofotometer DR4000

BAB IV

PROGRAM DAN METODOLOGI KAJIAN

4.0 Pengenalan

Bab ini menerangkan program kajian termasuk proses perolehan data yang membabitkan pengambilan dan penyediaan sampel dan ujikaji makmal bagi tujuan kajian ciri-ciri kejuruteraan tanah baki di Semenanjung Malaysia.

4.1 Program Kajian

Bagi mencapai matlamat kajian satu metodologi kajian telah direkabentuk seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.1 dan Rajah 4.2. Kajian ini bermula dengan pemilihan dan pensampelan tanah diikuti dengan menentukan peralatan makmal, melakukan ujian makmal, penghasilan carta kolerasi dan akhir sekali penyediaan katalog ringkas.

Dalam penyelidikan yang telah dijalankan, korelasi bagi komposisi kimia tanah dan mineralogi dihubungkan dengan ciri-ciri fizikal tanah baki. Manakala sebahagiannya melibatkan korelasi antara mineralogi dengan komposisi kimia tanah. Huraian dengan lebih mendalam dibincangkan dalam Bab IV. Korelasi-korelasi yang telah dibina adalah untuk sampel tanah baki di bahagian Timur sahaja. Antara korelasi-korelasi yang telah dibina adalah seperti berikut:-

- (i) Korelasi Mineralogi dengan Indeks Keplastikan (PI)
- (ii) Korelasi Mineralogi dengan Had Plastik (PL)
- (iii) Korelasi Mineralogi dengan Had Cecair (LL)
- (iv) Korelasi Mineralogi dengan Kandungan Lembapan (MC)
- (v) Korelasi Mineralogi dengan Peratus Berat Kehilangan Semasa Pembakaran (LOI)
- (vi) Korelasi Mineralogi dengan Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)
- (vii) Korelasi Mineralogi dengan Nilai pH
- (viii) Korelasi Nilai pH dengan Kepekatan Kation

4.2 Pensampelan

4.2.1 Lokasi Pensampelan

Dua puluh lokasi pensampelan telah dipilih di kawasan tanah baki granit berdasarkan peta geologi Semenanjung Malaysia yang disusun oleh Heng (1988) dengan skala 1: 2,000,000. Kawasan yang telah dipilih adalah Wakaf Tapai di Terengganu, Pulau Chondong di Kelantan, Bukit Mertajam dan Bukit Bunga di Pulau Pinang, Sungai Siput, Padang Rengas dan Bukit Berapit di Perak, Bandar Tasik Puteri, Taman Tasek Kesuma, Bandar Baru Bangi dan Gumut di Selangor, Sri Hartamas di Kuala Lumpur, Sedenak, Senai dan Mutiara Rini dan UTM di Johor, Brinchang di Pahang, Kampung Umbai di Melaka dan Tampin dan Seremban di Negeri Sembilan. Lokasi pensampelan ditunjukkan dalam Rajah 4.3 hingga Rajah 4.6. Pemilihan lokasi pensampelan adalah berdasarkan projek Jabatan Kerja Raya Malaysia (JKR) di kawasan tanah baki granit. Lokasi pensampelan dibahagikan kepada empat bahagian wilayah utama iaitu Utara, Selatan, Tengah dan Timur yang mewakili kawasan seluruh Semenanjung Malaysia seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 4.1 hingga Jadual 4.4.

4.2.2 Pensampelan Tanah

Sampel tanah baki granit telah diambil dengan kerjasama Kumpulan Ikram Sdn. Bhd. (IKRAM), JKR dan kontraktor tempatan. Perhatian diberikan bagi mengelakkan gangguan ke atas sampel tanah terutama dalam proses pengorekan, penusukan dan pengeluaran alat pensampel.

Pensampel tiub berdinding nipis telah dipilih kerana kebanyakan sampel diambil pada kedalaman yang agak cetek iaitu 1m sehingga 7m. Di samping itu pensampelan menggunakan tiub berdinding nipis adalah lebih ekonomi. Sampel yang diperoleh dari kaedah ini juga kurang terganggu dan hampir setara dengan pensampel mazier terutama pada kedalaman cetek seperti yang dikatakan oleh Nicholls (1990), Todo, *et al.* (1994) dan Rahardjo, *et al.* (2001). Pada kedalaman ini, tanah yang diperoleh adalah sederhana keras. Justeru itu gangguan ke atas sampel tanah adalah kecil berbanding dengan kedalaman yang tinggi kerana tanah lebih keras. Namun begitu bagi sampel tanah dari Brinchang, pensampel Mazier telah digunakan. Ini kerana tanah di situ adalah berkeadaan peroi dan penggunaan pensampel tiub berdinding nipis tidak sesuai sampel yang diambil mudah terganggu.

Setelah pensampel dikeluarkan dari lubang jara, kedua-dua hujung pensampel ditutup dengan menggunakan lilin bagi mencegah kehilangan kandungan lembapan semulajadi dan seterusnya sampel dilabelkan bagi mengelakkan kesilapan dalam memilih sampel untuk ujikaji. Kod sampel yang diberikan mengikut lokasi, nombor lubang jara dan kedalaman adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.1 hingga Jadual 4.4. Di samping mengelakkan kesilapan memilih sampel, kod tersebut juga dapat memudahkan pengisian data sama ada dalam bentuk jadual atau graf.

Sampel tak terganggu berupaya untuk terganggu walaupun selepas sampel ditutup dengan lilin. Justeru itu sampel tersebut tidak didedahkan kepada keadaan panas dan diletakkan di dalam kotak khas yang dilapik dengan span pada bahagian bawah tiub pensampel bagi mengelakkan gegaran semasa pemindahan sampel dari tapak ke Makmal Geoteknik, Fakulti Kejuruteraan Awam, UTM Skudai seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.7. Kereta pacuan empat roda jenis Land Cruiser

digunakan untuk memindahkan sampel tanah dari tapak ke makmal kerana kenderaan tersebut mempunyai ruang besar di bahagian belakang untuk meletakkan sampel. Sampel ditutup menggunakan guni yang dibasahkan bagi mengelakkan kehilangan kandungan lembapan semulajadi.

Penyimpanan sampel di makmal adalah amat penting bagi mengelakkan gangguan terhadap sampel. Sampel tanah tersebut diletakkan di tempat khas yang bersuhu rendah yang tiada gegaran dan ditutupi dengan guni yang dibasahkan setiap hari bagi mengelakkan kehilangan kandungan lembapan.

4.3 Menentukur Peralatan Makmal

Penentukuran adalah proses penyemakan ukuran peralatan bagi mengenalpasti ketepatan serta kejituan dengan membandingkan dengan ukuran piawai. Sebelum sesuatu peralatan boleh digunakan untuk ujikaji, peralatan tersebut perlu ditentukur terlebih dahulu supaya dapat memberikan keputusan yang berkualiti dan boleh dipercayai. Di antara peralatan yang ditentukur adalah peralatan hidrometer, GDS, botol piknometer bagi ujian graviti tentu dan tolok dail. Peralatan tersebut ditentukur dengan sebaik mungkin dan perlu di tentukur semula pada sela masa yang ditentukan.

4.3.1 Peralatan Hidrometer

Peralatan hidrometer ditentukur bersama dengan silinder yang digunakan semasa ujian. Ini kerana luas keratan rentas, A , silinder adalah termasuk dalam pengiraan dalam penentukuran. Silinder yang digunakan adalah selari pada sisinya, jadi luas keratan adalah sama untuk keseluruhan silinder.

Bagi menentukan luas keratan A, panjang silinder, L, di antara senggatan 100 dan 1000 ml diukur dalam unit milimeter. Oleh itu isipadu di antara dua senggatan itu adalah 900 ml. Luas keratan, A, diperolehi dengan persamaan di bawah.

$$A = \frac{900}{L} \times 1000 \text{ mm}^2 \quad (4.1)$$

Bagi hidrometer, jarak di antara senggatan bawah dengan leher bebuli diukur dalam milimeter dan ditandakan dengan N seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.8. Jarak di antara senggatan utama d_1 , d_2 , dan seterusnya diukur dalam milimeter. Jarak H bagi setiap senggatan dikira dengan melalui $(N+d_1)$, $(N+d_2)$ dan seterusnya. Bagi senggatan bawah, $H=N$. Jarak di antara leher ke bahagian bawah bebuli diukur dalam milimeter dan ditandakan sebagai h.

Isipadu bebuli hidrometer, V_h ditentukan dengan memasukkan hidrometer ke dalam silinder yang mengandungi 800 ml air. Kenaikan paras air merupakan isi padu bebuli hidrometer dan isi padu batang hidrometer boleh diabaikan seperti yang dicadangkan oleh Head (1992).

Kedalaman berkesan H_R (mm), bagi setiap senggatan utama dikira berdasarkan persamaan

$$H_R = H + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_h}{900} L \right) \quad (4.2)$$

di mana

- H = panjang dari leher bebuli ke senggatan R_h (dalam mm)
- h = panjang bebuli
- V_h = isi padu bebuli hidrometer (dalam mL)
- L = panjang di antara senggatan 100 mL dan 1000mL silinder

Graf H_R melawan R_h diplotkan dan satu garis lurus diperolehi. Persamaan garis lurus tersebut boleh ditunjukkan dalam bentuk

$$H_R = j_1 - j_2 R_h \quad (4.3)$$

di mana

- j_1 = pintasan pada paksi H_R
- j_2 = kecerunan garis
- R_h = bacaan hidrometer

Persamaan 4.3 digunakan di dalam pengiraan bagi mendapatkan diameter zarah, D (μm) dan peratus yang lebih kecil dari D yang boleh dikira daripada bacaan hidrometer R_h dan masa t . Penentuan peralatan hidrometer bagi ujikaji makmal ditunjukkan dalam Mohd Fairus (2003).

4.3.2 Sistem Digital Geoteknik (GDS)

Tiga pengawal tekanan digital dan Tekanan Digital Antara muka (DPI) yang digunakan dalam kajian ini telah ditentukan oleh syarikat pembekal peralatan tersebut iaitu GDS Instruments Sdn. Bhd., Selangor. Penentuan peralatan GDS adalah sangat penting bagi memastikan kejutuan tekanan di dalam pengawal digital. Selain itu ia juga penting bagi memastikan tekanan yang diberikan oleh komputer merupakan bacaan sebenar tekanan yang dikenakan ke atas sampel tanah.

Dalam proses penentuan GDS, dua bahagian dilakukan iaitu pengawal utama dan penentuan komputer. Pengawal utama dipilih dari salah satu pengawal tekanan digital. Pengawal tekanan digital yang lain dijadikan sebagai 'slave'. Pengawal utama ini ditentukan mengikut piawaian makmal. Tekanan yang ditetapkan dimasukkan melalui komputer. Komputer mengambil 100 bacaan bagi setiap peningkatan dan pengurangan tekanan piawai dan bacaan purata diambil.

Bagi penentuan komputer, salur keluar tekanan bagi setiap pengawal 'slave' disambungkan bersama dengan pengawal 'slave' yang lain dan juga pengawal tekanan digital dengan menggunakan penyambung tee. Komputer dan semua pengawal tekanan digital disambungkan dengan kabel antara muka. Komputer mengawal pengawal utama, mengenakan dan mengambil bacaan tekanan dari semua pengawal utama dan 'slave'. Bagi setiap penambahan dan peningkatan tekanan, 100 bacaan diambil dan purata bacaan digunakan. Seterusnya komputer menggunakan data penentuan piawai utama bagi membuat hubungan penentuan setiap pengawal 'slave' dan utama.

Penentukuran pengawal tekanan digital dilakukan setiap tahun bagi memastikan kebolehpercayaan keputusan. Penentukuran tekanan bagi tiga pengawal tekanan digital dan DPI yang digunakan dalam kajian ini diterangkan seperti yang dinyatakan dalam Mohd Fairus (2003). Namun begitu penentukuran berkala juga dijalankan di makmal. Antaranya ialah penyemakan tekanan bagi setiap pengawal dengan menyambungkan satu pengawal tekanan utama yang dipilih secara rawak dengan pengawal tekanan yang lain. Tekanan disetkan pada pengawal tekanan utama dan tekanan yang terhasil pada pengawal tekanan lain diperhatikan dan dipastikan beza tekanan adalah kecil. Di samping itu setiap kali sebelum memulakan ujikaji, geseran gegendang bellofram GDS disemak seperti yang diterangkan dalam 4.4.4.1. Biasanya nilai geseran adalah kecil iaitu di antara 3-4 kPa. Jika nilai geseran melebihi 5 kPa, maka gegendang GDS perlu ditukar.

4.3.3 Botol Piknometer

Penentukuran isipadu botol piknometer dibuat bagi memastikan isipadu botol tersebut adalah hampir bersamaan 50 ml seperti yang digunakan dalam ujikaji. Setiap botol piknometer dikeringkan sehingga kepada suatu berat yang tetap, disejukkan dan ditimbang sehingga 0.001 g. Botol tersebut kemudiannya diisikan dengan air suling ternyah udara yang diperolehi daripada didihan air selama 30 minit. Botol ditutup dan diletakkan di dalam tangki air yang bersuhu 25°C. Air ditambah jika berlaku pengurangan sehinggalah tiada perubahan isipadu. Kemudian, botol tersebut dikeluarkan, dikeringkan dan ditimbang.

Ketumpatan setiap botol ditentukan menggunakan persamaan berikut, Head (1982):

$$V_d = \frac{m_4 - m_1}{0.99704} \quad (4.4)$$

di mana

V_d = isipadu botol (ml)

m_1 = jisim botol bersama penutup

m_4 = jisim botol bersama penutup dengan air suling pada suhu 25°C

0.99704 g/ml adalah ketumpatan air pada suhu 25°C

4.3.4 Tolok Dail

Tolok dail perlu ditentukan setiap tahun bagi memastikan ketepatan dan kejituan bacaan tolok. Blok tolok piawai yang berdimensi 10 mm panjang dan 40mm lebar dan mempunyai ketebalan 1-15 mm diletakkan di bawah andas tolok dail selepas bacaan tolok dail ditetapkan sifar. Bacaan tolok dail bagi setiap blok tersebut diambil dan dicatatkan. Graf anjakan sebenar (ketebalan blok) dengan bacaan tolok dail diplotkan. Satu persamaan diperoleh daripada pelotan tersebut dan persamaan ini digunakan bagi mendapatkan anjakan sebenar yang berlaku seperti yang ditunjukkan dalam Mohd Fairus (2003). Disamping itu, pergerakan bebas pelocok disemak sebelum ujikaji pengukuhan dimulakan.

4.4 Ujian Makmal

Jadual 4.5 dan Jadual 4.6 menunjukkan program ujikaji yang dijalankan bagi ciri – ciri fizikal dan analisis kimia. Ujian makmal dibahagikan kepada ujian pengelasan dan indeks, ujian kebolehmampatan, ujian kekuatan ricih, nilai pH, kandungan sulfat, kandungan klorida, kandungan kation, kandungan elemen oksida, nilai kehilangan berat semasa pembakaran (LOI) dan nilai kebolehpaya pertukaran kation (KPK).

4.4.1 Penyediaan Sampel Ujikaji

Semasa penyimpanan sampel, sebarang gangguan sama ada daripada suhu persekitaran dan gegaran dielakkan. Sampel tak terganggu yang digunakan untuk ujikaji dikeluarkan dari tiub pensampel menggunakan penyemperit hidraulik

mendatar seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.9. Sampel yang dikeluarkan dipotong mengikut saiz spesimen yang diperlukan menggunakan dawai halus. Setelah sampel yang diperlukan diambil, kedua-dua hujung tiub pensampel ditutup kembali dengan menggunakan lilin bagi mengelakkan kehilangan kandungan lembapan semulajadi. Seterusnya sampel dialihkan dengan berhati-hati dan diletakkan kembali pada tempat penyimpanan sampel.

Sampel bagi ujikaji pengukuhan yang berdiameter 50mm dan ujian kekuatan ricih disediakan terlebih dahulu disebabkan oleh sampel tanah tak terganggu yang terhad. Lebihan tanah daripada penyediaan sampel tersebut dikumpulkan di dalam beg plastik yang boleh ditutup bagi mengekalkan kandungan lembapan semulajadinya. Ianya digunakan untuk ujikaji-ujikaji lain seperti penentuan graviti tentu, had Atterberg, analisis ayakan dan hidrometer. Ini kerana ujian-ujian tersebut boleh ditentukan menggunakan sampel terganggu. Kandungan lembapan semulajadi tanah ditentukan semasa penyediaan sampel-sampel tersebut.

4.4.2 Ujian Pengelasan Tanah dan Indeks

Penentuan kandungan lembapan adalah berdasarkan kepada BS 1377: Part 2: 1990 fasal 3. Walau bagaimanapun, sedikit ubahsuai dilakukan iaitu dua sampel masing-masing dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C dan lebih kecil daripada 50 °C seperti yang dicadangkan oleh Fourie (1997). Perbezaan di antara dua kaedah tersebut didapati lebih besar daripada 6%. Justeru itu semua ujikaji yang melibatkan penentuan kandungan lembapan seperti had Atterberg, graviti tentu, kebolehmampatan dan kekuatan ricih ditentukan pada pengeringan oven kurang daripada 50 °C.

Bagi ujian had Atterberg tanah pula ianya dijalankan berpanduan kepada BS 1377: Part 2: 1990 fasal 4.3 (menggunakan kaedah penusukan kun bagi ujian had cecair) dan BS 1377: Part 2: 1990 fasal 5.3 (ujian had plastik). Penentuan kandungan lembapan dijalankan dengan pengeringan oven pada suhu yang lebih kecil daripada 50 °C.

Graviti tentu tanah pula ditentukan berdasarkan BS 1377: Part 2: 1990 fasal 8.3 (kaedah piknometer kecil). Sampel bagi ujian graviti tentu tanah iaitu < 2 mm dikeringkan pada suhu yang lebih kecil daripada 50°C , sama seperti kaedah penentuan kandungan lembapan.

Taburan saiz zarah yang lebih besar daripada $63\ \mu\text{m}$ ditentukan menggunakan kaedah ayakan basah berdasarkan BS 1377: Part 2: 1990 fasal 9.2. Beberapa saiz ayak yang sesuai telah dipilih iaitu 14 mm, 10 mm, 5 mm, 1.18 mm $600\ \mu\text{m}$, $425\ \mu\text{m}$, $212\ \mu\text{m}$, $75\ \mu\text{m}$ dan $63\ \mu\text{m}$. Bagi penentuan saiz zarah yang lebih kecil daripada $63\ \mu\text{m}$, kaedah hidrometer digunakan berpandukan BS 1377 : Part 2 : 1990 fasal 9.5. Rajah 4.10 menunjukkan ujian hidrometer yang dijalankan bagi dua sampel tanah dengan tangki air yang direkabentuk khas bagi menempatkan silinder dan hidrometer. Termometer digunakan untuk menentukan suhu air di dalam tangki tersebut. Ujikaji dijalankan di bilik berhawa dingin yang mana suhu bilik dipastikan berada pada suhu $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sebelum ujikaji dijalankan.

4.4.3 Ujian Pengukuhan Satu Dimensi

Ujian pengukuhan satu dimensi dijalankan berpandukan BS 1377: Part 5: 1990 fasal 3 dan Head (1992). Sampel tanah dari tiub pensampel berdiameter dalaman 60 mm dan panjang 600 mm dikeluarkan dari tiub pensampel menggunakan mesin penyemperit mendatar. Tanah yang diperlukan untuk penyediaan sampel pengukuhan dipotong menggunakan dawai halus. Seterusnya, sampel bagi ujian pengukuhan berdiameter 50 mm dan 20 mm tinggi disediakan dengan menolak gelang pengukuh yang disapukan gris pada bahagian permukaan dalam ke dalam tanah yang telah dipotong. Tanah di dalam gelang pengukuhan kemudiannya di dipotong rata dan dimasukkan ke dalam peralatan oedometer. Kertas pelapik diletakkan di antara sampel tanah dan batu telap air bagi mengelakkan zarah tanah menyekat aliran air melalui batu telap air.

Disebabkan tanah baki adalah separa tepu, sampel dibiarkan tepu selama 48 jam sebelum ujikaji pengukuhan dijalankan. Pembebanan sampel tanah adalah mengikut beban berikut iaitu 1 kg, 2 kg, 4 kg dan 8 kg. Kemudian pembebanan dikurangkan kepada 4 kg dan 1 kg, seterusnya ditambah kepada 4 kg, 8 kg, 16 kg dan 32 kg. Menggunakan peralatan sedia ada, pembebanan 1 kg memberikan tekanan sebanyak 50 kN/m^2 pada sampel tersebut iaitu pada nisbah rasuk 10:1. Tempoh masa bagi setiap pembebanan adalah 24 jam.

4.4.4 Ujian Kekuatan Ricih

Penentuan kekuatan ricih tanah ditentukan menggunakan peralatan GDS. Ujikaji tiga paksi pengukuhan isotropi tak tersalir (CIU) yang dijalankan melibatkan penentuan tekanan air liang. Tiga sampel tanah tak terganggu telah disediakan bagi setiap ujikaji. Disebabkan oleh kekurangan sampel, sebanyak 16 daripada 24 sampel tanah telah diuji. Walaupun begitu setiap wilayah iaitu Utara, Selatan dan Timur ditentukan nilai parameter kekuatan ricihnya. Jadual 4.7 menunjukkan sampel-sampel bagi ujian kekuatan ricih yang mewakili wilayah masing-masing.

4.4.4.1 Penyediaan Peralatan Asas

Peralatan yang digunakan bagi ujian kekuatan ricih adalah GDS seperti yang diterangkan dalam bahagian 3.4. Rajah 4.11 menunjukkan peralatan bagi penyediaan sampel ujian kekuatan ricih. Sebelum ujian dijalankan, langkah-langkah persediaan awal perlu dijalankan supaya keputusan yang diperolehi adalah tepat. Antaranya ialah:

(i) Batu Telap Air

Dalam uji kaji ini, batu telap air digunakan pada bahagian bawah dan atas sampel. Bagi memastikan aliran air melalui batu telap air berjalan dengan lancar

semasa proses penepuan dan penyaliran, batu telap air dicuci menggunakan berus nilon bagi menyingkirkan tanah yang melekat dan kemudiannya direbus selama 15 minit. Ia kemudiannya dimasukkan ke dalam air nyah udara sebelum ianya digunakan dalam ujikaji.

(ii) Kertas Penapis

Kertas penapis saluran tepi dipasang di sekeliling sampel bagi membantu mempercepatkan proses penyaliran. Bahan yang digunakan adalah kertas penapis Whatman No 54 yang mempunyai kebolehtelapan yang tinggi, kuat dan mudah dibuang daripada sampel selepas uji kaji. Saliran tepi jenis berpusar seperti yang digunakan oleh Marto (1996) dipilih kerana pembetulan ke atas pengukuran kekuatan tidak diperlukan. Empat pusaran kertas penapis dengan lebar 5mm setiap satu dilekatkan pada sekeliling sampel pada kecondongan 1.4 pada arah menegak dan 1 pada arah melintang seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.12.

(iii) Selaput Getah dan Gelang-O

Selaput getah yang digunakan bagi sampel yang berdiameter 38 mm mempunyai saiz 150 mm panjang dan 0.3 mm tebal. Ia disimpan di tempat gelap dan sejuk selepas di debukan dengan kapur french. Selaput getah yang baru dan sebarang kecacatan dan kebocoran disemak sebelum ianya digunakan. Selaput getah direndamkan di dalam air selama 24 jam sebelum digunakan bagi mengelakkan penyerapan air dari sampel selain merendahkan kebolehtelapan selaput.

Dua gegelang-O getah diletakkan pada setiap hujung selaput getah bagi mengikat selaput getah dengan penutup atas dan alas bawah. Gelang-O dipasang dengan menggunakan gelang penegang belah.

(iv) Air Ternyah Udara

Air ternyah udara diperlukan bagi semua uji kaji yang melibatkan peralatan GDS. Dalam ujikaji tiga paksi GDS, air nyah udara digunakan di dalam pengawal

tekanan digital bagi menghasilkan tekanan sel, tekanan balik tekanan paksi. Ia juga dijadikan sebagai cecair terkurung dalam sel tiga paksi.

Penghasilan air ternyah udara dilakukan dengan memasak air suling sehingga mendidih selama setengah jam di dalam bekas yang agak besar dan dibiarkan sejuk. Semasa proses penyejukan, bekas tersebut ditutup dengan kerajang aluminium bagi mengelakkan udara sekeliling melarut dalam air tersebut. Setelah sejuk air nyah udara tersebut dimasukkan ke dalam sel tiga paksi dan juga ke dalam pengawal tekanan digital.

(v) Pengawal Tekanan Digital GDS

Sebelum menjalankan ujikaji, setiap pengawal tekanan digital diisi dengan air nyah udara yang baru. Kekunci 'EMPTY' di tekan bagi mengeluarkan semua air di dalam pengawal tekanan digital melalui tiub nilon. Apabila proses pengosongan tamat, tiub nilon dimasukkan ke dalam bikar yang mengandungi air nyah udara dan kekunci "FILL" ditekan bagi mengisi air ke dalam pengawal. Kekunci 'STOP' ditekan apabila air di dalam pengawal 3/4 penuh.

(vi) Semakan Geseran Gendang Bellofram GDS

Dalam sistem GDS, tegasan paksi jumlah dalam sel tiga paksi dikira daripada bacaan sel beban, sel tekanan dan purata luas semasa bagi spesimen. Tegasan paksi dapat dicatatkan dengan baik jika selaput Bellofram mempunyai geseran yang kecil. Semakan geseran dibuat seperti berikut:

- (a) Pengawal tekanan digital disambungkan kepada kebuk bawah sel tiga paksi yang kosong. Injap kebuk bawah dipastikan dibuka.
- (b) Suis pengawal tekanan digital di buka atau isi padu di kosongkan jika ianya telah dibuka.
- (c) Butang 'EMPTY' pada pengawal tekanan digital ditekan selama 10 saat, kemudian butang 'RESET' ditekan.
- (d) Bacaan tekanan yang dipaparkan pada skrin dicatatkan.
- (e) Selepas itu butang 'FILL' ditekan selama 10 saat, diikuti dengan butang 'RESET'. Bacaan tekanan yang dipaparkan dicatatkan.

- (f) Separuh daripada nilai perbezaan tekanan adalah pembetulan geseran.

Biasanya pembetulan geseran adalah kecil iaitu antara 3-4 kPa. Jika nilanya melebihi 5kPa, maka ianya adalah tidak normal. Ini mungkin disebabkan oleh selaput Bellofram telah tersekat oleh zarah tanah. Jika keadaan ini berlaku, gegandang bellofram harus digantikan dengan yang baru.

4.4.4.2 Penyediaan Sel Tiga Paksi dan Sampel

Bahagian ini menerangkan tentang penyediaan sel tiga paksi dalam sistem GDS serta penyediaan sampel bagi ujian tiga paksi. Sebelum ujikaji dijalankan, suis pengawal tekanan digital serta komputer, yang dilengkapi dengan perisian GDSLAB Versi 2 dan berupaya untuk menyimpan data ujikaji, dihidupkan.

(i) Sel Tiga Paksi

Sistem ini dilengkapi dengan komputer dan pencetak di sebelah kanan sel tiga paksi serta pengawal digital di sebelah kiri. Satu pengawal disambungkan kepada injap kebuk sel yang dinamakan ‘pengawal tekanan sel’, satu pengawal tekanan digital disambungkan kepada injap aliran air pada penutup atas yang dinamakan ‘pengawal tekanan balik’ dan satu lagi pengawal tekanan digital disambungkan kepada injap kebuk bawah yang dinamakan ‘pengawal tekanan paksi’. Susunan keseluruhan sistem boleh dilihat dalam Rajah 4.13. Rajah 4.14 pula menunjukkan sel tiga paksi yang digunakan dalam ujikaji. Sebelum sampel diletakkan di dalam sel tiga paksi, air nyah udara perlu diisikan sehingga penuh di dalam tiub kecil bagi aliran tekanan balik serta pengukuran tekanan air liang. Ini adalah penting bagi mengelakkan udara terperangkap di dalam tiub tersebut. Penanjak bawah perlu diturunkan sehingga menyentuh had bawah dengan menekan butang ‘FILL’.

(ii) Sampel Ujian

Sampel tanah dikeluarkan daripada tiub pensampel menggunakan penyemperit bermotor mendatar dan dimasukkan ke dalam tiub berdiameter 38 mm dan panjang melebihi 160 mm. Sampel di dalam bekas tersebut dikeluarkan menggunakan penyemperit jenis berskru bersaiz 38 mm dan dimasukkan ke dalam bekas boleh belah. Sampel itu kemudiannya dikemaskan sehingga mempunyai diameter 38 mm dan tinggi 76 mm. Bekas serta tanah tersebut kemudiannya ditimbang bagi mendapatkan ketumpatan gembur sampel.

Sampel itu kemudiannya dikeluarkan dari bekas boleh belah dan diletakkan di atas batu berliang di tapak sel tiga paksi. Satu lagi batu berliang diletakkan pada bahagian atas sampel. Seterusnya kertas penapis diletakkan mengelilingi sampel tersebut seperti dalam Rajah 4.15. Selaput getah yang telah direndam di dalam air nyah udara pada bahagian luar sampel bagi mengurung sampel. Dua gegelang-O diletakkan pada bahagian tapak sel tiga paksi bagi mengikat selaput getah untuk mengelakkan air dari memasuki sampel. Selaput getah itu dilurut ke atas dan ke bawah bagi mengeluarkan udara berlebihan di antara selaput getah dan sampel.

Bahagian atas sampel diletakkan plat perspek dengan aliran tekanan balik. Penegang gelang-O terbelah yang berbentuk silinder digunakan untuk meletakkan dua lagi gelang-O bagi mengikat selaput getah pada perspek tersebut. Rajah 4.16 menunjukkan kedudukan sampel yang siap diletakkan di atas penanjak bawah. Gris silikon diletakkan pada bebola atas plat perspek serta bahagian pelantak atas. Penutup sel kemudiannya diletakkan dan diketatkan. Pelantak atas diturunkan sehingga menyentuh bebola atas. Ini adalah bertujuan mengelakkan udara terperangkap di dalam lubang kecil pada pelantak. Setelah itu air diisikan ke dalam sel tersebut melalui injap sel tekanan sehingga penuh. Skru penutup lubang pada bahagian atas diketatkan apabila tiada lagi udara terperangkap di dalam sel tersebut.

Ketiga-tiga hujung tiub nilon untuk pengawal tekanan sel, pengawal tekanan balik serta pengawal kebuk bawah diletakkan pada bahagian tengah sel. Butang 'EMPTY' ditekan bagi mengeluarkan udara di dalam tiub tersebut bagi setiap sel kemudiannya tekan 'RESET'. Kemudian bacaan tekanan sel serta isi padu pengawal

tekanan digital di sifarkan. Tiub itu kemudiannya masing-masing disambungkan kepada sel tiga paksi.

4.4.4.3 Pengujian Sampel

Setelah segala persediaan dibuat, ujian kekuatan ricih tak tersalir boleh dijalankan menggunakan perisian GSDLAB seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.13. Setelah segala data yang dikehendaki seperti berat sampel, diameter, tinggi dan nilai graviti tentu diisi di dalam komputer, ujikaji dijalankan dengan arahan komputer. Prosedur kerja menggunakan perisian GDS seperti yang ditunjukkan oleh Mohd Fairus (2003).

Ujikaji ricih terkukuh tak tersalir melibatkan peringkat penepuan, pengukuhan dan ricihan. Tiga sampel digunakan bagi setiap ujikaji dan sampel tersebut dikenakan tegasan yang berbeza iaitu masing-masing 100, 200 dan 400 kN/m^2 . Tegasan berkesan ini sama seperti tegasan pengukuhan.

Semasa proses penepuan, tekanan sel yang dikenakan bagi setiap sampel adalah 500 kN/m^2 dan tekanan balik 495 kN/m^2 dengan perbezaan sebanyak 5 kN/m^2 bagi membolehkan penepuan ke atas sampel dilakukan. Proses penepuan dihentikan apabila sampel telah mencapai 97% tepu. Peratus ketepuan disemak melalui perisian GSDLAB yang memberikan nilai ketepuan 'B' pada skrin.

Dalam proses pengukuhan pula, bagi sampel pertama tekanan balik diturunkan kepada 400 kN/m^2 bagi membolehkan sampel terkukuh, manakala tekanan sel ditetapkan pada 500 kN/m^2 . Bagi sampel yang kedua pula tekanan balik adalah 400 kN/m^2 manakala tekanan sel dinaikkan menjadi 600 bagi mendapatkan tekanan berkesan sebanyak 200 kN/m^2 . Sampel yang ketiga pula dikenakan tekanan balik 400 kN/m^2 dan tekanan sel 800 kN/m^2 bagi mendapatkan tegasan berkesan sebanyak 400 kN/m^2 . Jadual 4.8 menunjukkan tekanan sel dan tekanan balik yang dikenakan pada setiap sampel. Proses pengukuhan tanah mengambil masa selama satu atau dua hari bergantung kepada keadaan tanah. Proses pengukuhan dihentikan

apabila air yang dikeluarkan dari sampel mencapai 95% atau tekanan air liang sama dengan tekanan balik.

Setelah peringkat pengukuhan selesai, injap tekanan balik ditutup dan peringkat ricihan tanah pula dijalankan dengan kadar keterikan 0.015 mm/minit bagi pengukuran tekanan air liang. Ujian berhenti secara automatik apabila tegasan sisih mencapai nilai maksimum, seperti yang telah ditetapkan melalui arahan komputer.

Apabila ujian selesai dijalankan, injap tekanan liang ditutup bagi mengelakkan air memasuki sampel kerana kandungan lembapan di akhir ujikaji perlu diambil bagi menentukan nisbah lompong akhir. Air di dalam sel tiga paksi dikeluarkan dan sampel ditimbang bagi menentukan kandungan lembapan.

4.4.5 Analisis Kimia Tanah

Ujikaji-ujikaji kimia yang berkaitan dijalankan di Makmal Geoteknik, Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia dan sebahagiannya di Jabatan Kimia Analisis, Fakulti Sains, Universiti Teknologi Malaysia. Ujikaji-ujikaji yang berkaitan adalah ujikaji lazim kimia tanah, dan kebolehpayaan pertukaran kation (KPK). Rajah 4.17 menunjukkan cartalir penentuan komposisi kimia tanah.

Ujikaji yang dijalankan adalah seperti menentukan nilai pH, kandungan anion seperti sulfat dan klorida, kandungan kation seperti natrium, kalium, magnesium dan kalsium. Jadual 4.6 menunjukkan ringkasan daripada kaedah, piawaian dan peralatan yang digunakan dalam penentuan komposisi kimia ini. Bilangan sampel bagi tujuan pengujian adalah berbeza-beza. Ini adalah disebabkan, penulis perlu menghadkan jumlah jisim sampel yang diperlukan dalam tujuan pengujian pada peringkat sarjana ini.

4.4.5.1 pH Tanah

Dalam menentukan nilai keasidan dan kealkalian tanah, penulis telah menjalankan ujikaji mengikut BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 9.4 yang telah disyorkan oleh Head (1992) dan aliran perjalanan ujikaji makmal telah diringkas dalam Rajah 4.17. Sebanyak 56 sampel tanah telah digunakan dalam tujuan ujikaji ini. Meter pH elektrik digunakan dalam pengujian ini iaitu seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.18.

Dalam menguji ketepatan dan kepekaan alat ketika membaca bacaan sampel ujikaji, penulis telah menjalankan kalibrasi terhadap meter pH. Langkah-langkah dalam menentukan kalibrasi peralatan meter pH ini adalah:-

- (i) Memastikan setiap elektrod bagi setiap pengukuran sampel piawai digunakan secara berasingan selain bersih. Larutan piawai pH, iaitu piawai pH 7.00 yang berwarna kuning dan piawai pH 4.00 yang berwarna merah jambu telah digunakan.
- (ii) Bagi setiap larutan piawai tersebut, suhu perlu disemak dengan menekan kekunci MOD (*MODE*) pada peralatan sehingga perkataan suhu (*TEMPERATURE*) terapar pada paparan skrin. Suhu yang dibenarkan untuk tujuan pengujian sampel telah dilekatkan bersama-sama pada botol piawai pH tersebut.
- (iii) Jadual piawai pada setiap larutan piawai dirujuk untuk menentukan nilai pH yang sebenar. Kekunci MOD ditekan semula sehingga skrin memaparkan perkataan AUTO. Maka, dengan segera, elektrod bacaan pH meter diletakkan pada larutan piawai pH 7.00. Selepas seberapa seketika, tiada perubahan pada bacaan skrin, nilai tersebut dicatat sebagai nilai pH sebenar bagi larutan piawai pH 7.00. Nilai yang dicatat adalah 7.05.
- (iv) Selepas itu, menggunakan elektrod yang berbeza, ianya diletakkan di dalam botol larutan piawai pH 4.00. Selepas seberapa seketika, tiada perubahan pada bacaan skrin, nilai tersebut dicatat sebagai nilai pH sebenar bagi larutan piawai pH 4.00. Nilai yang dicatat adalah 3.97.

- (v) Daripada langkah-langkah kalibrasi yang dijalankan, didapati bagi larutan piawai pH 7.00, bacaan sebenar nilai pH adalah 7.05 manakala bagi larutan piawai pH 4.00, bacaan sebenar nilai pH adalah 3.97. Merujuk kepada kandungan manual yang dilampirkan bersama-sama peralatan meter pH ini, ujikaji boleh dijalankan sekiranya bacaan sebenar nilai pH adalah dalam julat ± 0.05 . Oleh itu, penulis telahpun menjalankan analisis nilai pH dengan menggunakan kalibrasi yang telah dijalankan.

Spesifikasi yang terdapat pada peralatan meter pH ini adalah

- (i) Julat bacaan pH: 0.00 hingga 14.00, kuasa = 1000 mV
- (ii) Ketepatan bacaan: 0.01
- (iii) Kejituan bacaan: ± 0.01
- (iv) Suhu sekitaran yang bersesuaian adalah 0°C hingga 50°C
- (v) Ukuran dimensi: 180 mm panjang, 83 mm lebar dan 40 mm tebal
- (vi) Jisim alat: 320 g

4.4.5.2 Kepekatan Sulfat

Dalam menentukan kandungan sulfat dalam sampel tanah, penulis telah menjalankan ujikaji berdasarkan BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 5.6.2 dan Head (1983) iaitu Kaedah Air-Boleh Larut dalam Tanah – Penyediaan Ekstrak Berair iaitu satu kaedah melarutkan yang mana sampel tanah dilarutkan ke dalam bentuk yang berair. Aliran perjalanan ujikaji makmal telah diringkaskan dalam Rajah 4.17. Setelah sampel-sampel tanah dilarutkan, maka ia diuji dengan menggunakan peralatan Spektrofotometer DR4000. Dalam menggunakan peralatan ini, dua botol sel digunakan yang mana botol sel pertama mengandungi air suling ataupun air ternyah ion yang bertujuan sebagai sampel kawalan atau sampel perbandingan dan botol sel yang kedua pula adalah botol yang diletakkan dengan sampel yang telah dilarutkan. Sebanyak 25 mL isipadu larutan air suling dan sampel tanah yang telah dilarutkan diisi ke dalam botol-botol sel tersebut. Sebanyak 56 sampel tanah telah

digunakan dalam tujuan ujikaji ini. Rajah 4.19 menunjukkan langkah-langkah tipikal dalam pengujian kepekatan sulfat. Langkah-langkah tersebut adalah:-

- (i) Nombor program dalam menguji kepekatan sulfat dimasukkan pada peralatan dengan menekan kekunci 7 dan diikuti dengan kekunci Program Terstor. Apa yang berlaku adalah lampu pada kekunci Program Terstor menyala dan diikuti dengan panjang gelombang bagi pengujian kepekatan sampel, tertera pada skrin peralatan.
- (ii) Pilih panjang gelombang pada peralatan dilaraskan kepada angka yang ditunjukkan pada skrin seperti Langkah (i). Langkah seterusnya adalah dengan menekan kekunci CLEAR.
- (iii) Penyesuai sel sampel diletakkan di dalam ruang sel sampel pada peralatan yang mana penyesuai sel sampel itu digunakan untuk memegang botol sel yang mengandungi sampel kajian.
- (ii) Botol sel yang mengandungi sampel kawalan ini kemudiannya dimasukkan ke dalam ruang sel sampel. Pintu ruang sel sampel kemudiannya ditutup.
- (iii) Selepas itu, kekunci Sifar dan Kepekatan ditekan. Apa yang berlaku adalah, bacaan pada peralatan memaparkan nilai 0.00 mg/L. Botol sel sampel kawalan ini kemudiannya dikeluarkan.
- (iv) Botol sel yang kedua pula, iaitu yang mengandungi sampel tanah yang dilarutkan dalam bentuk berair, ditambah dengan Serbuk Reagen SulfaVer 4. Botol sel ini kemudiannya diputar secara perlahan-lahan dan dipastikan tiada sebarang air yang tertumpah. Selepas beberapa seketika, terdapat mendakan putih yang terbentuk pada dasar botol sel ini yang mana menunjukkan mendakan sulfat. Selepas seketika, botol sel ini dimasukkan ke dalam ruang sel sampel untuk diuji kepekatan sulfat. Pintu ruang sel sampel ditutup dan dibiarkan.
- (v) Maka, selepas seberapa seketika bacaan pada skrin akan tertera yang mana menunjukkan bacaan dalam angka yang berunit mg/L iaitu menunjukkan kepekatan sulfat hadir dalam sampel tersebut.

4.4.5.3 Kepekatan Klorida

Ujikaji dalam menentukan kandungan klorida dalam sampel adalah mengikut BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 7.2.3.2 dan Head (1983) iaitu Kaedah Air-Boleh Larut dalam Tanah – Penyediaan Ekstrak Berair iaitu satu kaedah melarutkan yang mana sampel tanah dilarutkan ke dalam bentuk yang berair. Bilangan sampel ujikaji adalah 56 sampel dan peralatan Spektrometeri DR4000 telah digunakan dalam tujuan ujikaji ini. Langkah-langkah tipikal dalam pengujian kepekatan sulfat ditunjukkan dalam Rajah 4.20. langkah-langkah tersebut adalah:-

- (i) Kekunci 7, 3 dan Program Terstor ditekan untuk tujuan menguji kepekatan klorida dalam sampel. Lampu pada kekunci Program Terstor akan menyala dan memberikan bacaan panjang gelombang 455.0. Pada beberapa seketika, lampu pada kekunci Set Panjang Gelombang dan juga kekunci Sifar akan berkelip-kelip yang mana menunjukkan satu set angka perlu dimasukkan.
- (ii) Pilih panjang gelombang disetkan dengan angka 455 nm. Kekunci CLEAR kemudiannya ditekan. Lampu pada kekunci Set Panjang Gelombang tidak lagi menunjukkan kelipan dan skrin pada peralatan akan menunjukkan bacaan sifar. Manakala, lampu pada kekunci Sifar akan terus berkelip sehingga peralatan itu diletakkan botol sel kawalan.
- (iii) Botol sel yang pertama, diisi dengan air suling sebanyak 25 mL. Botol sel ini bertindak sebagai botol sel kawalan.
- (iv) Dengan menggunakan botol sel yang kedua, sampel tanah yang telah dilarutkan ke dalam bentuk berair diisi ke dalam botol tersebut sebanyak 25 mL.
- (vi) Kedua-dua botol sel, samada yang mengandungi air suling dan juga sampel, diisikan dengan Larutan Merkuri Tiosianat dengan menggunakan pipet sebanyak 2.0 mL. Botol-botol sel ini diputarakan secara perlahan-lahan.
- (vii) Kemudiannya, botol-botol sel ini diisikan pula Larutan Ion Ferik sebanyak 1.0 mL dengan menggunakan pipet yang berlainan dengan Langkah (v). Apa yang berlaku adalah, warna di dalam botol sel yang kedua iaitu botol yang mengandungi sampel, bertukar warna iaitu

daripada jernih menjadi warna jingga. Ini menunjukkan klorida hadir dalam sampel.

- (viii) Kedua-dua botol sel tersebut dibiarkan seketika dan kekunci 2 dan kekunci Masa ditekan. Jangka masa tindak balas selama 2 minit akan berlaku sekiranya botol sel diletakkan di dalam ruang sel sampel. Lampu pada kekunci Masa akan bernyala dan skrin pula menunjukkan angka 2:00 minit dan masa berkurangan dalam setiap 10 saat sehingga mencapai 0 minit.
- (ix) Botol sel yang pertama iaitu yang mengandungi air suling diletakkan di dalam ruang sel sampel dan pintu ruang sel ini kemudiannya ditutup selepas 2 minit iaitu pada Langkah (vii) telah tamat. Dengan menekan kekunci Sifar dan Kepekatan, peralatan ini akan memberikan bacaan pada skrin. Bacaan yang tertera adalah 0.00 mg/L.
- (x) Kemudiannya, botol sel yang pertama digantikan dengan botol sel yang kedua dengan pantas. Maka bacaan pada skrin akan memberikan satu angka yang berunit mg/L iaitu menunjukkan kepekatan klorida hadir dalam sampel tersebut.

4.4.5.4 Kandungan Kation

Dalam menentukan kandungan kation seperti ion-ion natrium, kalium, magnesium dan kalsium adalah mengikut kaedah yang dinyatakan oleh Yalcin dan David (2000). Sebanyak 49 sampel dan peralatan Spektroskopi Serapan Atom (AAS) digunakan dalam pengujian ini.

4.4.5.5 Kandungan Elemen Oksida

Penentuan kandungan elemen oksida atau unsur major adalah seperti silikon oksida, SiO_2 , aluminium oksida, Al_2O_3 , ferum oksida, Fe_2O_3 , magnesium oksida,

MgO, kalsium oksida, CaO, mangan oksida, MnO, fosfat oksida, P₂O₅, titanium oksida, TiO₂, kalium oksida, K₂O, dan natrium oksida, Na₂O; seperti yang dibincangkan dalam Bahagian 3.7. Bilangan sampel ujikaji adalah 56 sampel.

4.4.5.6 Nilai Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI)

Untuk menentukan peratus kehilangan berat semasa pembakaran (LOI), penulis telah menggunakan kaedah yang disyorkan oleh Hamzah (1997a). LOI dinyatakan sebagai nilai komponen-komponen yang meruap, terutamanya air di dalam kekisi hablur dan karbon organik (sebagai CO₂) yang terlerai daripada sampel dipanaskan selama satu jam pada suhu 1000°C. Sebanyak 56 sampel digunakan dalam penentuan LOI ini.

Langkah-langkah dalam menjalankan ujikaji ini adalah:-

- (i) Relau dipanaskan selama tidak kurang daripada 1 jam sebelum bermula dan dibiarkan stabil pada suhu 1100°C.
- (ii) Suhu plet pemanas diatarkan supaya berada pada lebih kurang 220°C dan suhu dibiarkan stabil.
- (iii) Serbuk sampel dikeringkan pada suhu 110°C untuk sekurang-kurangnya 1 jam.
- (iv) Berat mangkuk platinum, Pt yang bersih dan kering ditimbang dan dicatat.
- (v) Dengan tepat, sampel seberat antara 0.3999 g atau 0.4004 g ditimbang.
- (vi) Salah satu Spektroflux (105, 110 atau 100B) sebanyak antara 4.0000 g hingga 4.0004 g dimasukkan ke dalam mangkuk.
- (vii) Sebelum pembakaran dijalankan, berat mangkuk + fluks + sampel tanah dicatatkan.
- (viii) Mangkuk Pt ditutup dan diletakkan di atas talam silika, kemudiannya dimasukkan ke dalam relau yang bersuhu 1100°C menggunakan bantuan penyepit dan sarung tangan tahan haba dan dibiarkan selama 45 minit.

- (ix) Mangkuk itu kemudiannya dikeluarkan daripada relau, secara perlahan-lahan dilenggangkan supaya bahan yang terlakur itu berada dalam keadaan homogen dan diletakkan di atas blok penyejuk (daripada bahan logam). Mangkuk kemudian ditutup dengan tudung. Jika sampel tidak larut sepenuhnya dengan bahan fluks, maka mangkuk yang sama dimasukkan semula ke dalam relau dan langkah (viii) diulangi.
- (x) Mangkuk dan tudung Pt itu kemudiannya dimasukkan ke dalam balang pengering dan dibiarkan selama 15 minit. Selepas itu, mangkuk dan isinya ditimbang semula dan kehilangan berat campuran sampel + fluks ditolak dengan berat selepas pelakuran.
- (xi) Nilai LOI ditentukan dengan menggunakan rumus seperti :

$$\frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Kehilangan berat} \\ \text{sebelum dibakar} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Kehilangan berat} \\ \text{selepas pembakaran} \end{array} \right\}}{\text{Berat sampel tanah}} \times 100$$

4.4.5.7 Kebolehpaya Pertukaran Kation

Ujikaji Kebolehpaya Penukaran Kation (KPK) adalah menggunakan Kaedah Luluh Larutan dan bilangan sampel yang digunakan dalam ujikaji adalah 49 sampel. Bahan-bahan uji yang digunakan dalam ujikaji ini adalah 1 M ammonium asitat, NH_4OAc yang mempunyai nilai pH 7.0. Kaedah yang dijalankan dalam pengujian adalah mengikut kaedah yang diperkenalkan oleh Jabatan Geologi, UKM. Langkah-langkah dalam menjalankan ujikaji ini adalah:-

- (i) Kertas turas yang telah terlebih dahulu dibasuh dengan asid dimasukkan ke dalam tabung luluh larutan sehingga ketebalan kira-kira 1 cm diperolehi.
- (ii) Kemudian, 10 g tanah dimasukkan ke dalam tabung tadi.
- (iii) Tanah itu dilarutresapkan dengan 100 mL larutan ammonium asitat selama 5 hingga 6 jam.

- (iv) Larutan yang keluar melalui tabung luluh larutan diambil dan dijadikan kepada isipadu sebanyak 100 mL iaitu ditambahkan dengan larutan air suling.
- (v) Kemudian, larutan daripada langkah (iv) itu tadi, ditentukan kepekatan-kepekatan kationnya dengan menggunakan peralatan Spektrometri Serapan Atom (AAS) seperti dalam Rajah 3.16.
- (vi) Nilai KPK ditentukan dengan menggunakan rumus seperti:-

$$= \frac{mg / L Ca^{2+}}{200} + \frac{mg / L Mg^{2+}}{120} + \frac{mg / L K^{+}}{390} \text{ dalam unit meq/100 g.}$$

4.4.6 Penentuan Mikrostruktur dan Mineralogi Tanah

Kesemua ujikaji yang melibatkan mikrostruktur tanah telah dijalankan dengan di Jabatan Bahan, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia dan Pusat Kajian Tenaga Nasional Berhad, Serdang. Ujikaji-ujikaji yang berkaitan adalah menggunakan peralatan Pengimbas Mikroskop Elektron (SEM). Manakala, pengujian sampel terhadap mineralogi tanah telah dijalankan di Program Geologi, UKM yang mana peralatan Pembelauan Sinar-X (XRD) dan Spektrometer Pendarflor Sinar-X (XRF) telah digunakan. Rajah 4.21 menunjukkan ringkasan aliran makmal yang dijalankan dalam menentukan mikrostruktur dan mineralogi tanah baki.

4.4.6.1 Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)

Peralatan ini beroperasi di bawah vakum yang tinggi. Sampel-sampel ujikaji adalah perlu untuk menyingkirkan liang bendalir atau menggantikannya dengan cecair tak meruap atau damar (*resin*) dalam sampel (Rajah 3.15). Semua pengujian

sampel terhadap mineralogi dan mikrostruktur tanah dijalankan di Jabatan Struktur Bahan, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM. Bilangan sampel yang digunakan dalam menentukan mikrostruktur dan mineralogi tanah baki adalah sebanyak 50 sampel. Sebagai langkah pertamanya, sampel daripada tiub berdinding nipis disamperitkan dan dikeluarkan sedikit. Sampel ini kemudiannya dikeringkan dalam ketuhar dan dibelah sehingga menjadi sebuah kiub yang berukuran 1 cm x 1 cm.

Sebelum ujikaji penyerapan dijalankan, sampel disalutvakumkan dengan lapisan yang nipis (20 μm hingga 30 μm) dengan bahan konduksi. Bagi kajian ini, sampel dalam bentuk kiub tersebut disalut dengan menggunakan emas dengan menggunakan peralatan sesuai. Rajah 3.23 menunjukkan peralatan penyalut percitan. Ini akan menjadikan ia lebih konduktif dan bersedia untuk dilihat di bawah peralatan SEM ini. Rajah 4.20 menunjukkan ringkasan bagaimana pengujian sampel terhadap mineralogi dan mikrostruktur tanah dijalankan. Penyediaan sampel yang telah dijalankan adalah mengikut panduan Mitchell (1993).

4.4.6.2 Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Spektrometer Pendarflor Sinar-X (XRF)

Sampel-sampel telah dikisar lebih lanjut dengan lesung agat bagi mendapatkan butiran bersaiz 20 hingga 30 μm dalam bentuk serbuk. Sampel-sampel tersebut yang diserbukkan kemudian dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 105°C selama satu jam sebelum dianalisis. Rajah 4.17 menunjukkan ringkasan aliran menjalankan ujikaji ini. Semua penyediaan sampel bagi tujuan ujikaji adalah mengikut Hamzah (1997a).

Dalam menyediakan spesimen bagi kajian XRF dalam penentuan unsur major, keping kaca terlakur (fused glass bead) telah disediakan dengan menggaulkan 0.5 g sampel dan 5 g 110 Spektrofluks, memberikan nisbah pencairan sampel terhadap fluks sebesar 1:10. Campuran serbuk yang dihomogenkan di dalam mangkuk pijar Platinum (Pt)-Aurum (Au) ini dibakar pada suhu 1000°C selama 15 minit. Campuran homogen sampel dan fluks dalam bentuk leburan ini dituang ke

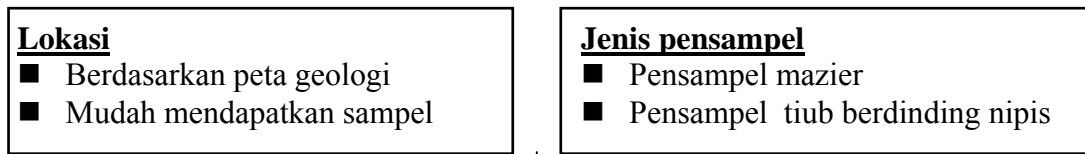
dalam acuan Pt-Au dan disejukkan. Keping kaca yang terhasil berdiameter 32 mm dan tebalnya 4 mm. Piawai-piawai juga disediakan menggunakan sebuah mesin pembuat keping kaca terlakur automatik berjenama *Classi Fluxer Bis 10!* dan sebahagiannya secara manual. Rajah 4.17 menunjukkan ringkasan aliran makmal bagi penentuan ini manakala Rajah 4.21 menunjukkan sampel yang telah disediakan bagi tujuan pengujian makmal.

4.4.6.3 Penyediaan Sampel bagi Pengujian menggunakan Pembelauan X-ray (XRD)

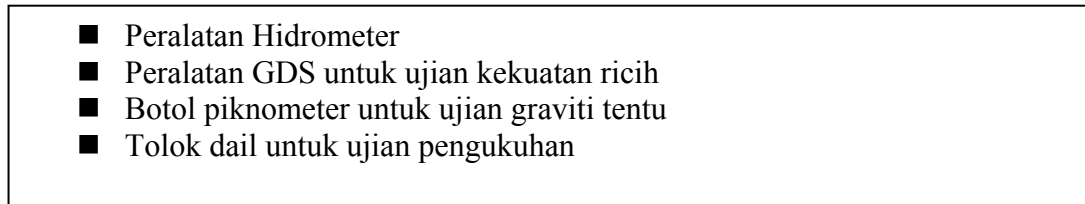
Penyediaan sampel untuk ujikaji menggunakan XRD adalah mengikut Hamzah (1997b). Sampel-sampel dikisar lebih halus dengan menggunakan sejenis lesung agat bagi mendapatkan butiran bersaiz 20 μm hingga 30 μm yang berbentuk serbuk. Sampel-sampel berbentuk serbuk itu kemudiannya dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 105°C selama satu jam sebelum dianalisis. Rajah 4.20 menunjukkan ringkasan aliran menjalankan ujikaji ini.

Dalam menyediakan spesimen bagi kajian XRD, serbuk sampel diisi ke dalam lubang berbentuk bulat di atas pemegang sampel plastik. Lubang ini berukuran 2 cm diameter dan 1.5 mm dalam. Sampel ini kemudiaanya diratakan dan dipadat dengan menggunakan kekuatan tekanan jari tangan yang menggunakan slaid kaca. Sebanyak 51 sampel tanah baki telah digunakan dalam menguji kehadiran mineral dalam tanah yang menggunakan peralatan XRD ini.

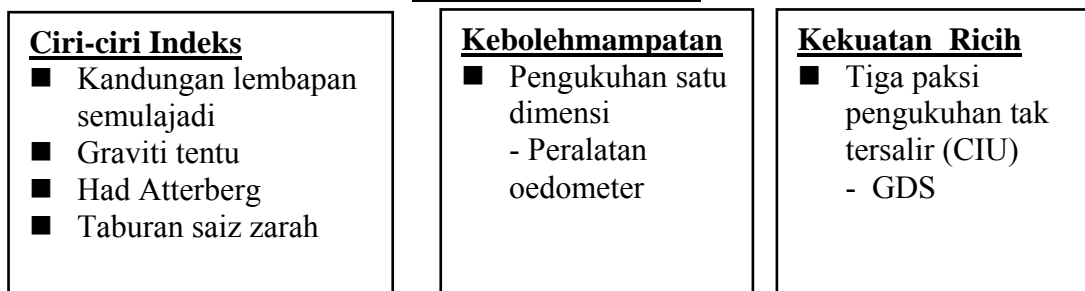
PEMILIHAN DAN PENSAMPELAN TANAH



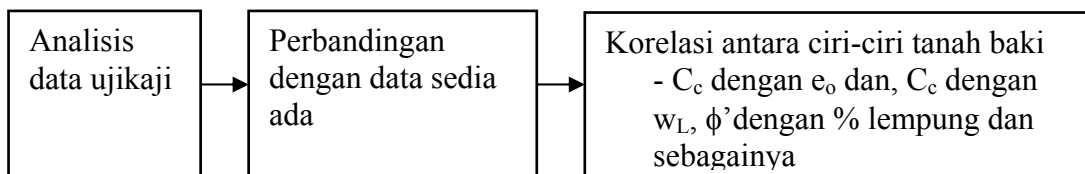
MENENTUKUR PERALATAN MAKMAL



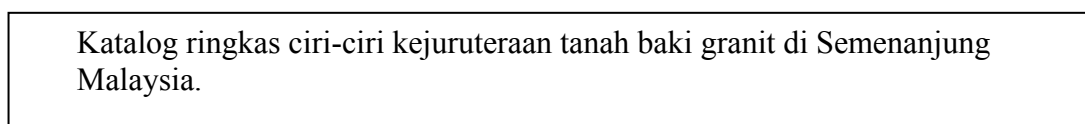
UJIKAJI MAKMAL



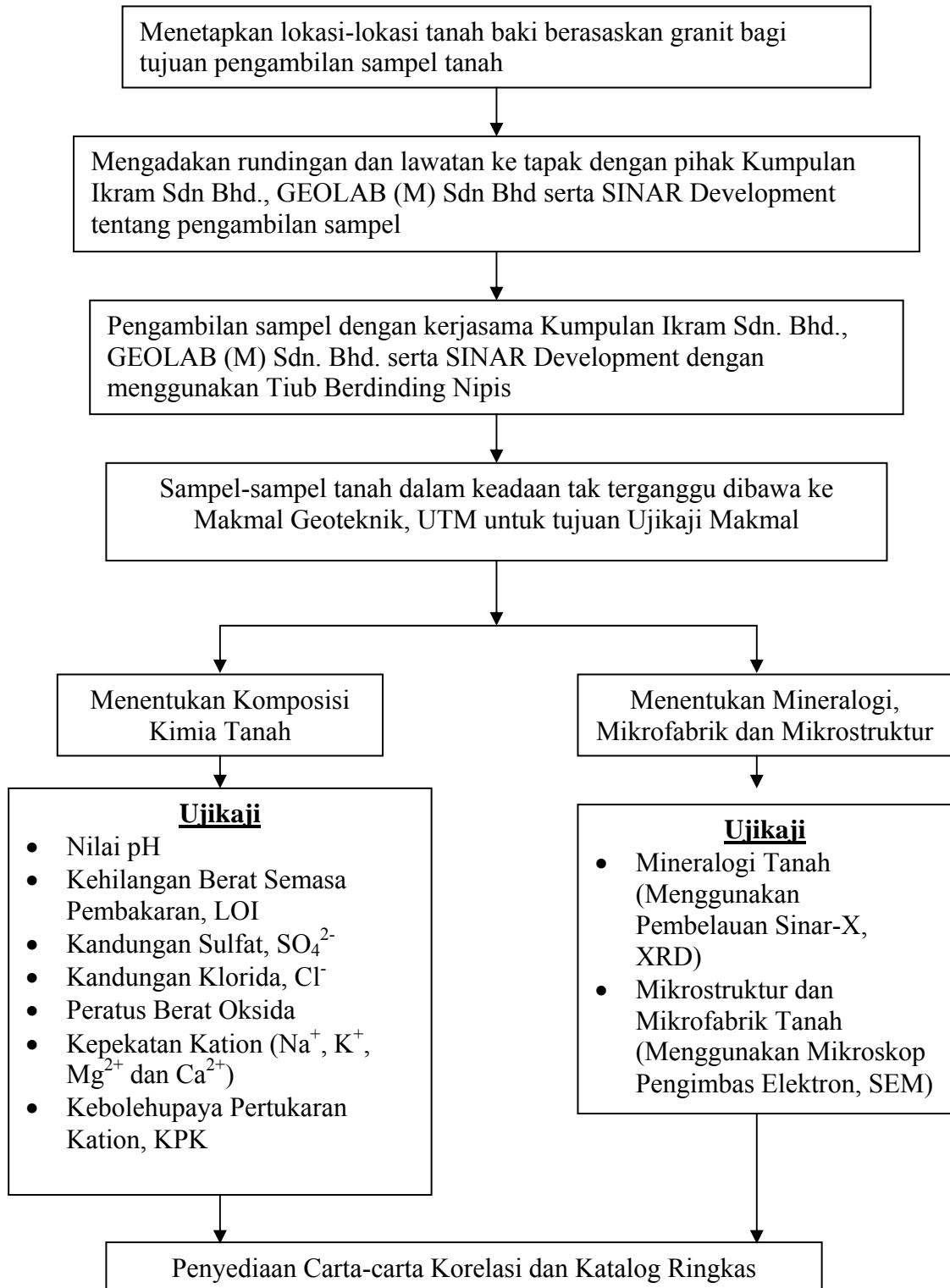
PENGHASILAN CARTA KORELASI



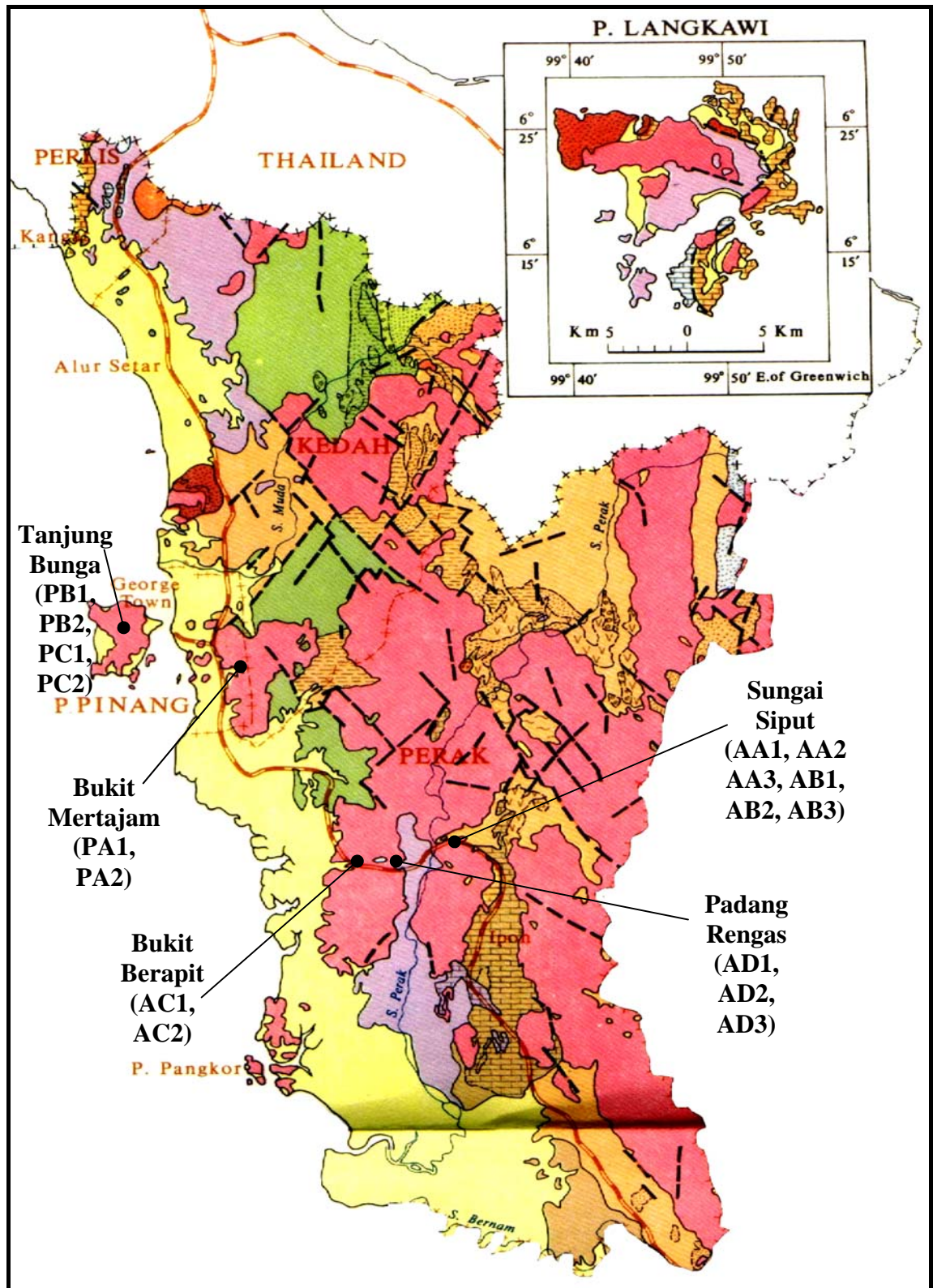
PENYEDIAAN KATALOG



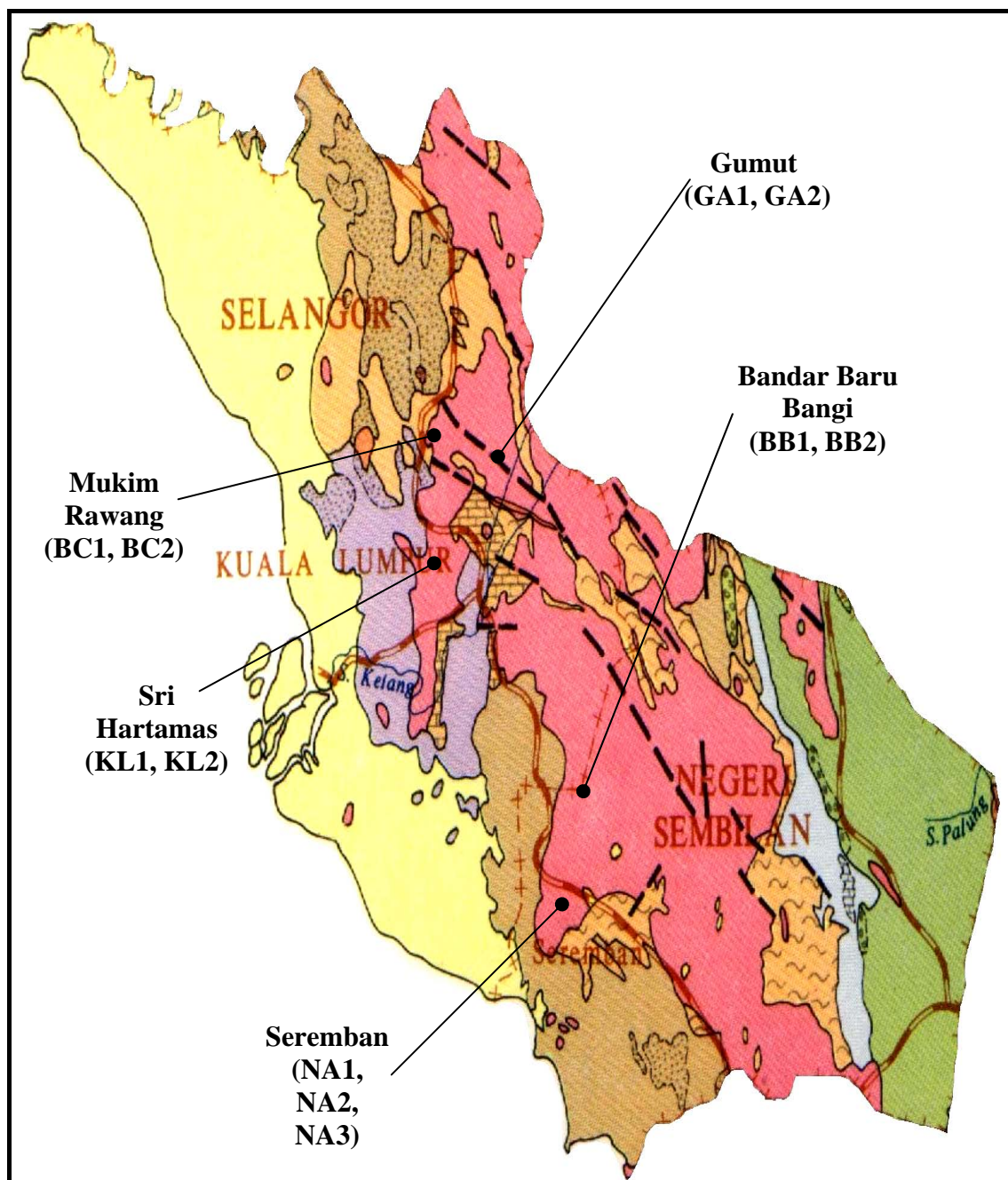
Rajah 4.1: Metodologi kajian ciri – ciri fizikal tanah



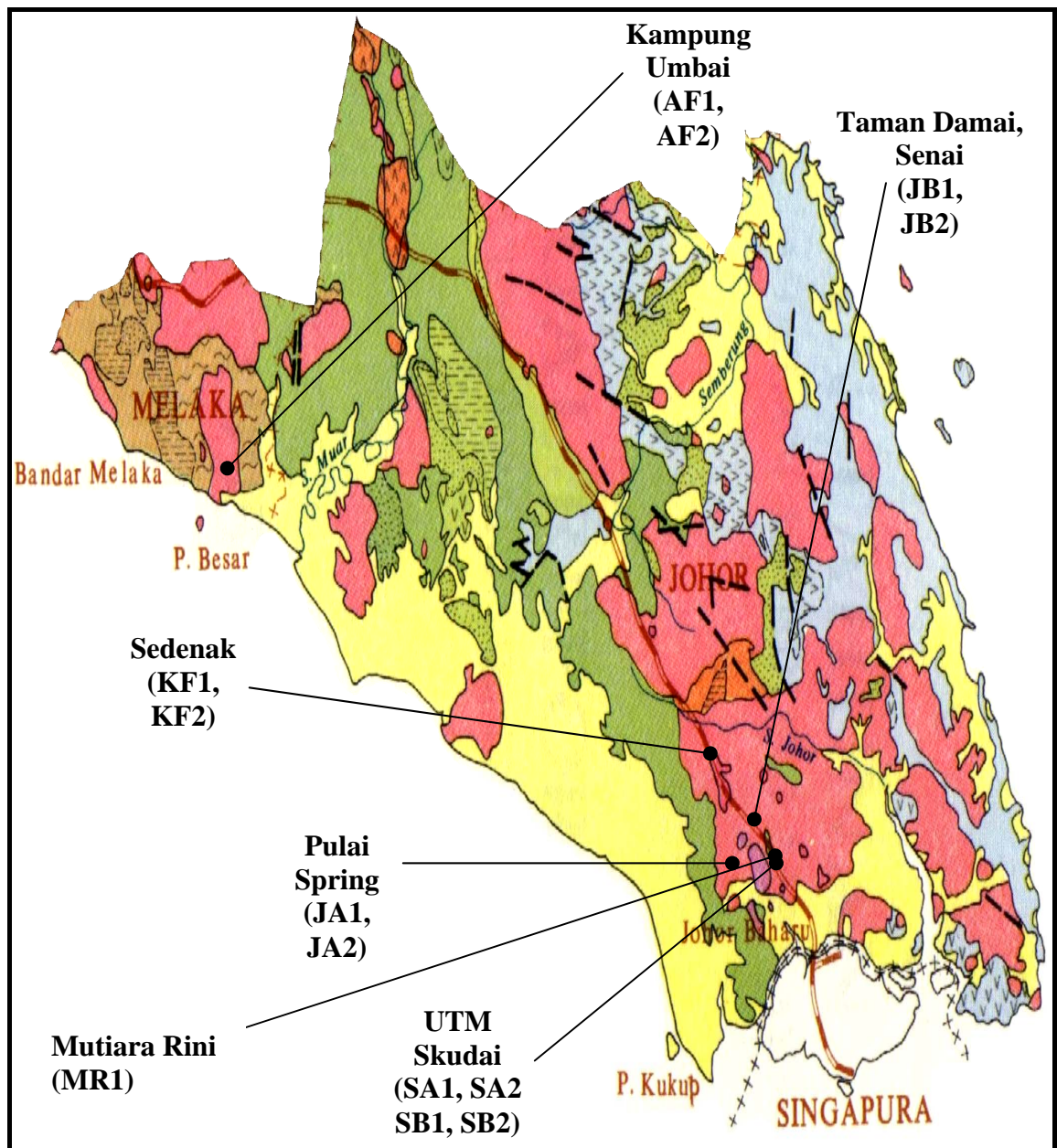
Rajah 4.2 : Metodologi kajian ciri-ciri kimia, mineralogi dan mikrostruktur



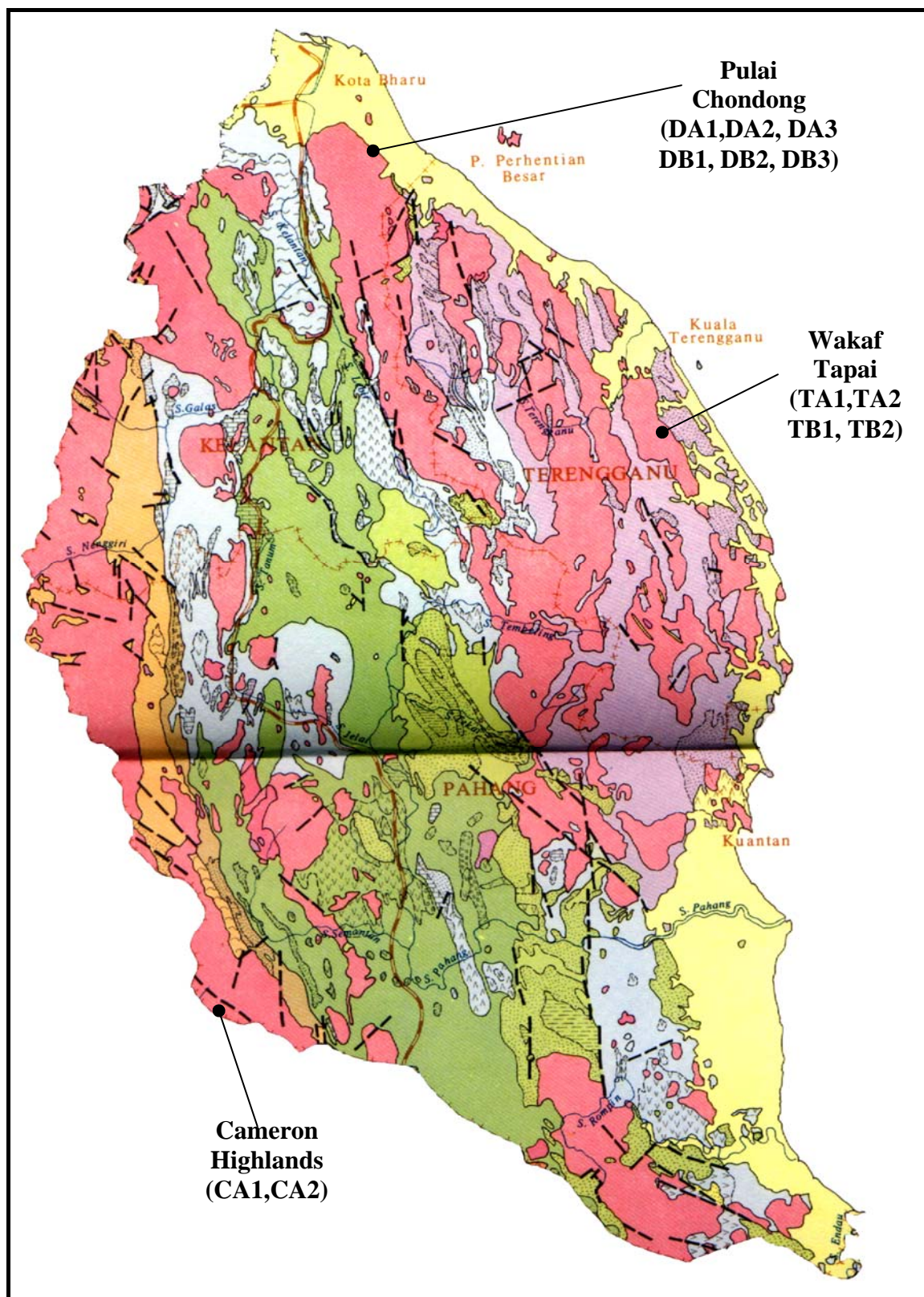
**Rajah 4.3 : Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Utara
Semenanjung Malaysia**



Rajah 4.4 : Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Tengah Semenanjung Malaysia



Rajah 4.5 : Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Selatan Semenanjung Malaysia



**Rajah 4.6 : Lokasi sampel yang diambil dari bahagian Timur
Semenanjung Malaysia**

Jadual 4.1 : Sampel Ujikaji dari bahagian Utara Semenanjung Malaysia

No.	Negeri	Lokasi	Kedalaman (m)	Kod
1	Pulau Pinang	Bukit Mertajam	1.5 – 2.5	PA1
			3.0 – 4.0	PA2
Tanjung Bunga		1.5 – 1.95	PB1	
		4.5 – 4.95	PB2	
		4.5 – 4.95	PC1	
		6.0 – 6.45	PC2	
Perak Darul Riduan		Sungai Siput	1.5 – 1.95	AA1
			4.5 – 4.95	AA2
	7.5 – 7.95		AA3	
	Sungai Siput	4.5 – 4.95	AB1	
		6.0 – 6.45	AB2	
		7.5 – 7.95	AB3	
	Padang Rengas	1.5 – 1.95	AD1	
		4.5 – 4.95	AD2	
		6.0 – 6.45	AD3	
	Bukit Berapit	7.5 – 7.95	AC1	
10.5 – 10.75		AC2		

Jadual 4.2: Sampel Ujikaji dari bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

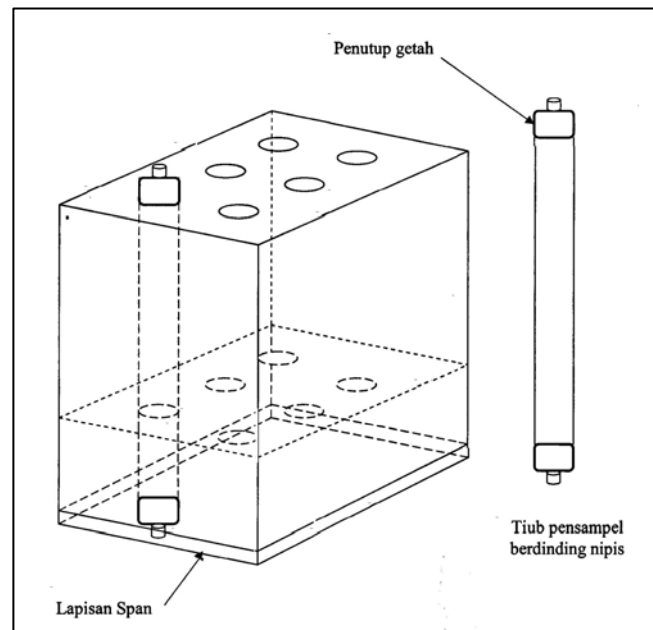
No.	Negeri	Lokasi	Kedalaman (m)	Kod
1	Selangor Darul Ehsan	Bandar Tasik Puteri, Mukim Rawang	3.0 – 3.45	BC1
			6.0 – 6.45	BC2
2		Taman Tasek Kesuma	2.0 – 2.45	BD1
			6.0 – 6.45	BD2
			7.5 – 7.95	BD3
3		Bandar Baru Bangi	3.0 – 3.45	BB1
			6.0 – 6.45	BB2
			9.0 – 9.45	BB3
4		Gumut	1.5 – 1.95	GA1
			3.0 – 3.45	GA2
5	Kuala Lumpur	Sri Hartamas	4.0 – 4.45	KL1
			7.0 – 7.45	KL2
6	Negeri Sembilan Darul Khusus	Seremban	6.0 – 6.45	NA1
			9.0 – 9.45	NA2
			13.5 – 13.95	NA3

Jadual 4.3: Sampel Ujikaji dari bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

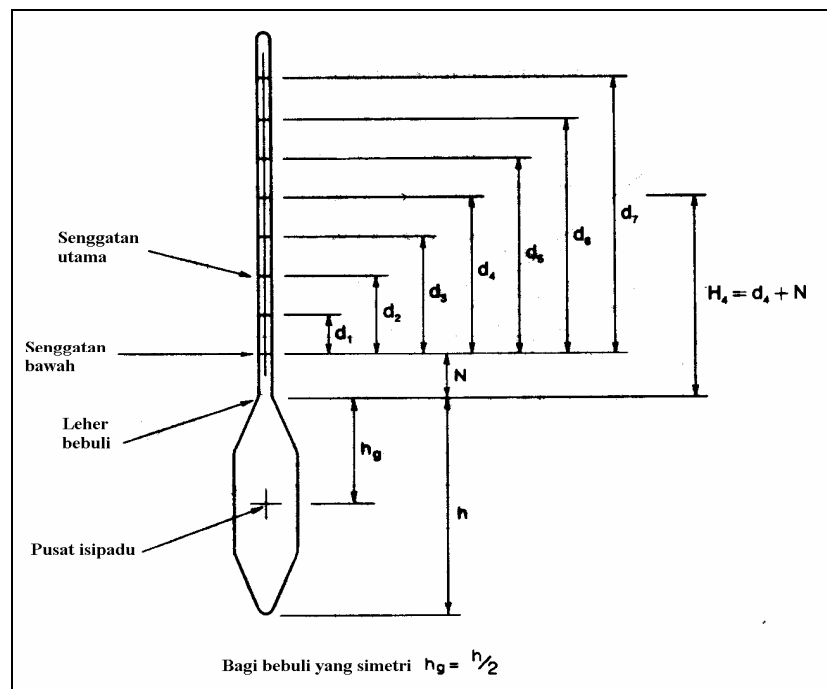
No.	Negeri	Lokasi	Kedalaman (m)	Kod
1	Johor Darul Takzim	Stesen Keretapi Sedenak	5.0 – 5.5	KF1
			6.5 – 7.0	KF2
Universiti Teknologi Malaysia, Skudai		1.0 – 1.45	SA1	
		3.0 – 3.45	SA2	
		1.0 – 1.45	SB1	
		2.0 – 2.45	SB2	
4		Mutiara Rini	3.0 – 3.5	MR1
5		Taman Damai Senai	2.0 – 2.5	JB1
			3.5 – 4.0	JB2
6	Negeri Sembilan	Tampin	1.0 – 1.5	TM1
			3.0 – 3.5	TM2
1.0 – 1.5			TM3	
3.0 – 3.5			TM4	
8	Melaka	Kampung Umbai	1.0 – 1.95	AF1
			3.0 – 3.45	AF2

Jadual 4.4: Sampel Ujikaji dari bahagian Timur Semenanjung Malaysia

No.	Negeri	Lokasi	Kedalaman (m)	Kod
1	Pahang Darul Makmur	Cameron Highlands	9 - 10	CA1
			20 – 21	CA2
2	Terengganu Darul Iman	Wakaf Tapai	1.0 – 1.5	TA1
			3.0 – 3.5	TA2
3			1.0 – 1.5	TB1
			3.0 – 3.5	TB2
4	Kelantan Darul Naim	Pulai Chondong	1.5 – 2.0	DA1
			3.0 – 3.5	DA2
			4.0 – 4.5	DA3
5			1.5 – 2.0	DB1
			3.0 – 3.5	DB2
			4.0 – 4.5	DB3



Rajah 4.7 : Kotak khas untuk memindahkan sampel ke makmal (Sobri, 1993)



Rajah 4.8 : Pengukuran bagi penentuan hidrometer



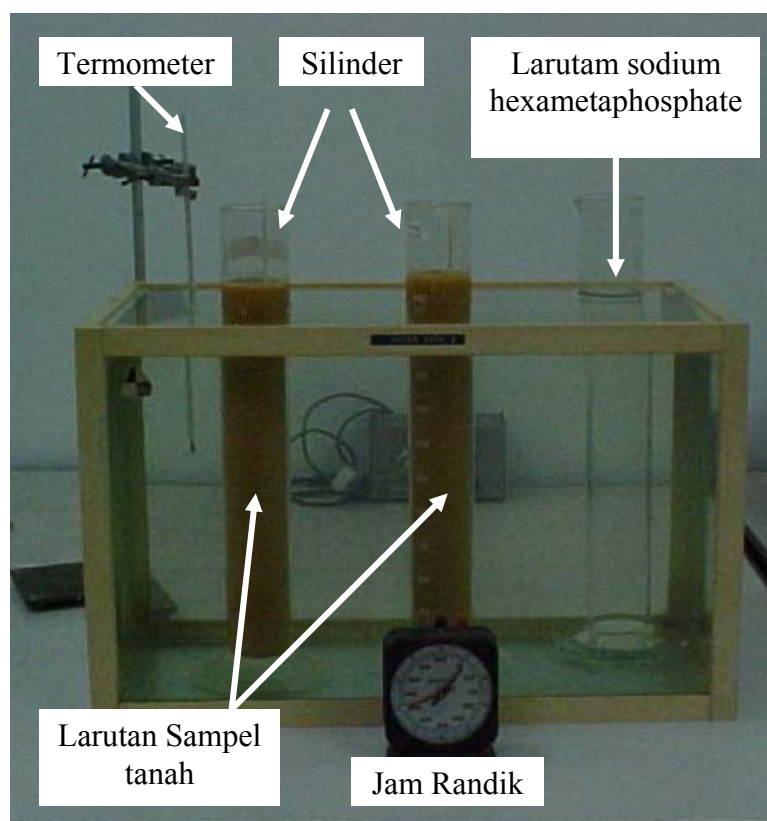
Rajah 4.9 : Penyemperit hidraulik mendatar

Jadual 4.5 : Program ujikaji bagi ciri – ciri fizikal

Nama Ujikaji Utama	Nama Ujikaji	Bil. Sampel	Kaedah
Ujian pengelasan dan indeks	Kandungan lembapan semula jadi	24	BS 1377: Part 2: 1990: 3 dan Head (1992)
	Graviti tentu		BS 1377: Part 2: 1990: 8.3
	Had Atterberg		BS 1377: Part 2: 1990: 4.3
	Hidrometer		BS 1377: Part 2: 1990: 9.5
	Ayakan		BS 1377: Part 2: 1990: 9.2
Ujian kebolehmampatan	Pengukuhan satu dimensi oedometer	24	BS 1377: Part 5: 1990:3 dan Head (1988)
Ujian kekuatan ricih	Ricih tiga paksi pengukuhan tak salir	16	Head (1986)

Jadual 4.6 : Kaedah, piawaian dan peralatan yang digunakan dalam analisis kimia

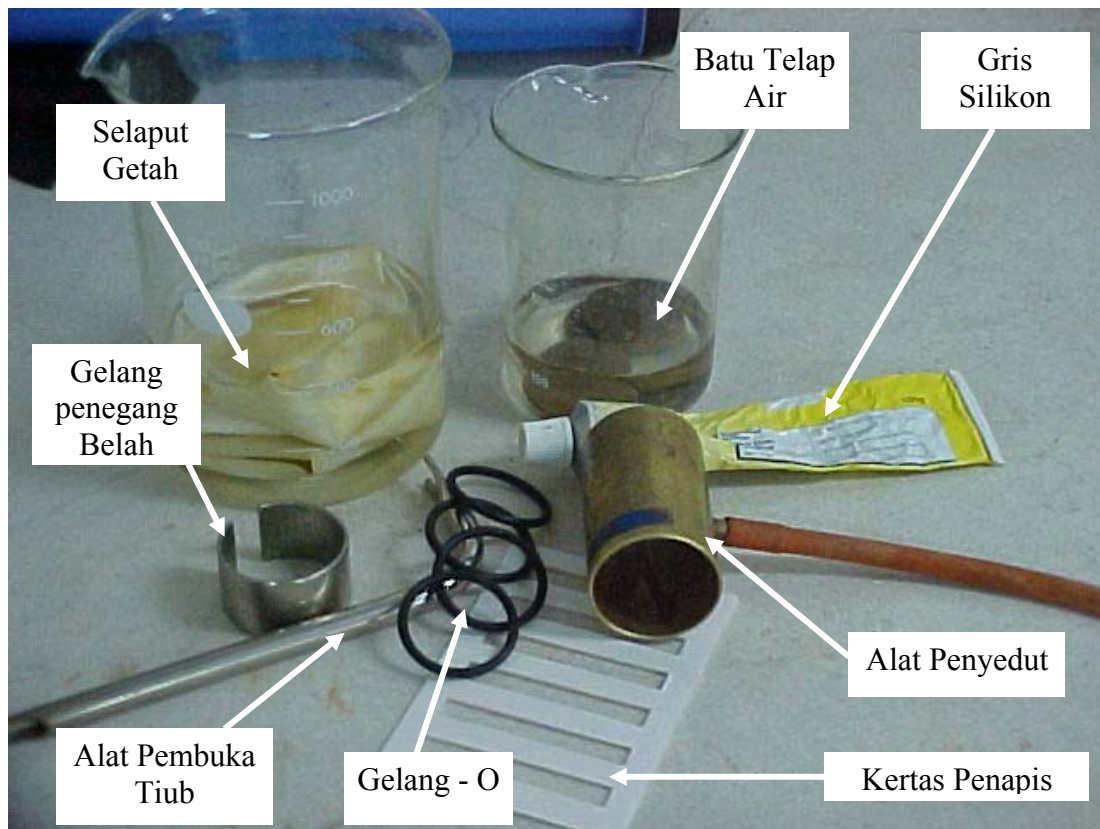
Bil.	Komposisi Kimia	Bil. Sampel	Peralatan	Piawaian yang Digunakan
1	Nilai pH	56	Meter pH Elektrik	BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 9.4
2	Kandungan Sulfat	56	Spektrofotometer DR4000	BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 5.6.3
3	Kandungan Klorida	56		BS 1377: Bahagian 3: 1990: Seksyen 7.2.3.2
4	Kandungan Kation	49	Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)	Mengikut Yalcin dan David (2000)
5	Kandungan Elemen Oksida	56	Pendarflor Sinar-X (XRF)	Mengikut Hamzah (1997a,b)
6	Nilai Kehilangan Berat semasa Pembakaran, LOI	56	Relau Bersuhu 1100°C	
7	Nilai Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)	49	Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)	



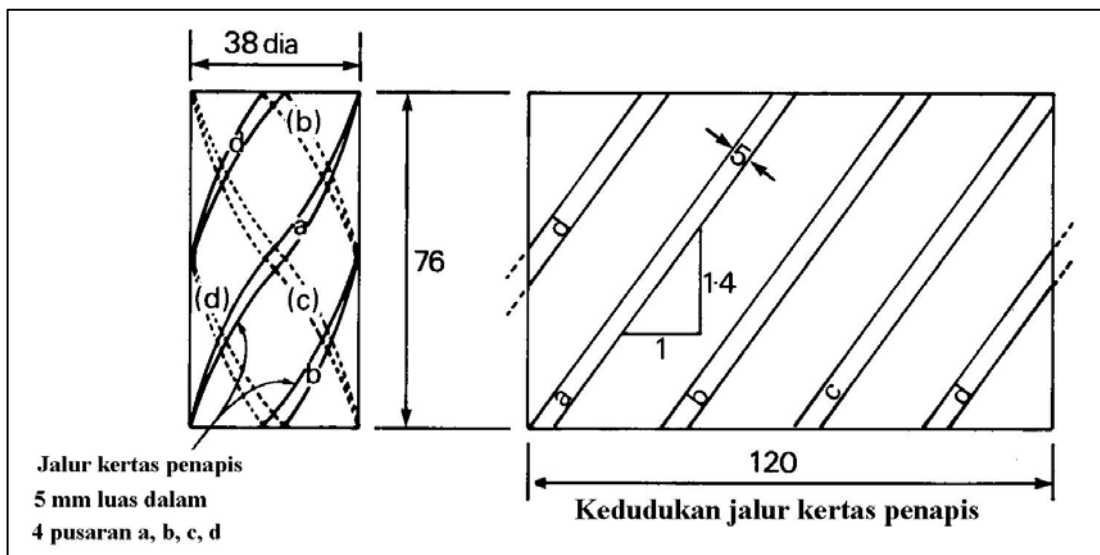
Rajah 4.10 : Ujian hidrometer

Jadual 4.7 : Sampel bagi penentuan ujian kekuatan ricih

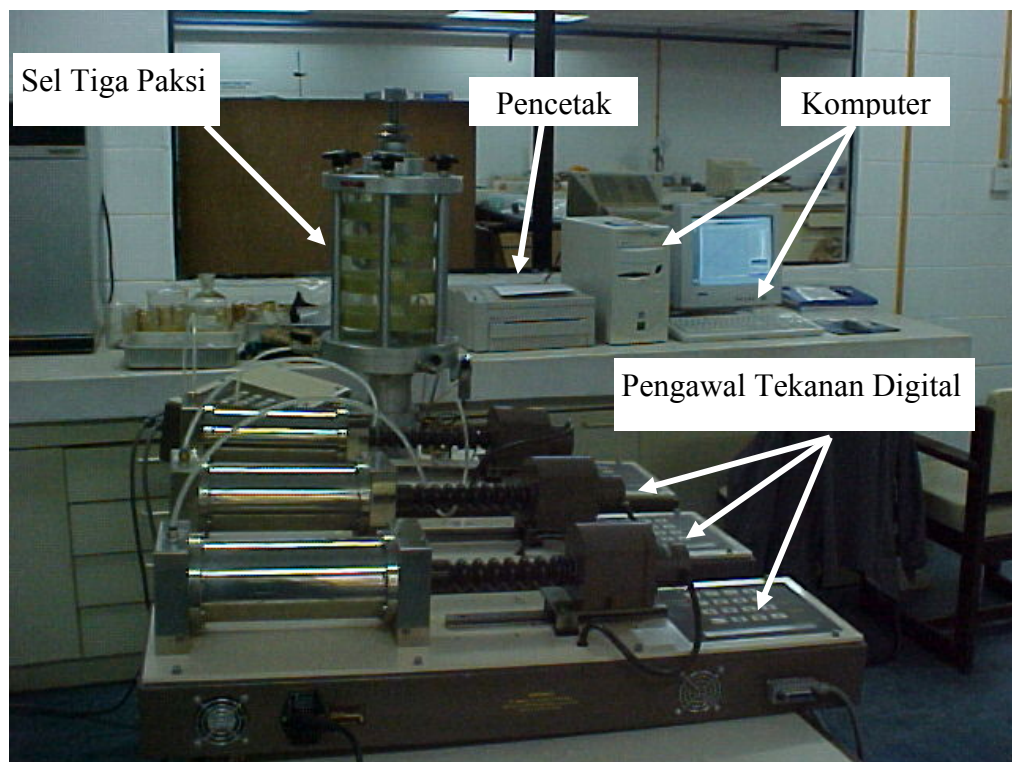
Wilayah	Lokasi	No. Lubang Jara	Kedalaman (m)	Kod
Utara	Bukit Mertajam, Pulau Pinang	BH1	1.5 – 2.0	BM1
		BH2	1.5 – 2.5	BM3
	Brinchang, Pahang	BH2	5.0 – 6.0	BR1
Selatan	Sedenak, Johor	BH95	5.0 - 5.5	SD1
			6.0 - 6.5	SD2
	Senai, Johor	BH1	3.0 – 3.5	SN1
	Tampin, Negeri Sembilan	BH1	1.0 – 1.5	TM1
		BH2	1.0 – 1.5	TM3
Timur	Wakaf Tapai, Terengganu	BH1	1.0 – 1.5	WT1
			3.0 – 3.5	WT2
		BH2	1.0 – 1.5	WT3
			3.0 – 3.5	WT4
	Pulai Chondong, Kelantan	BH1	1.0 – 1.5	PC1
			3.0 – 3.5	PC2
		BH2	1.0 – 1.5	PC4
			3.0 – 3.5	PC5



Rajah 4.11: Peralatan yang digunakan untuk penyediaan sampel ujikaji (CIU)



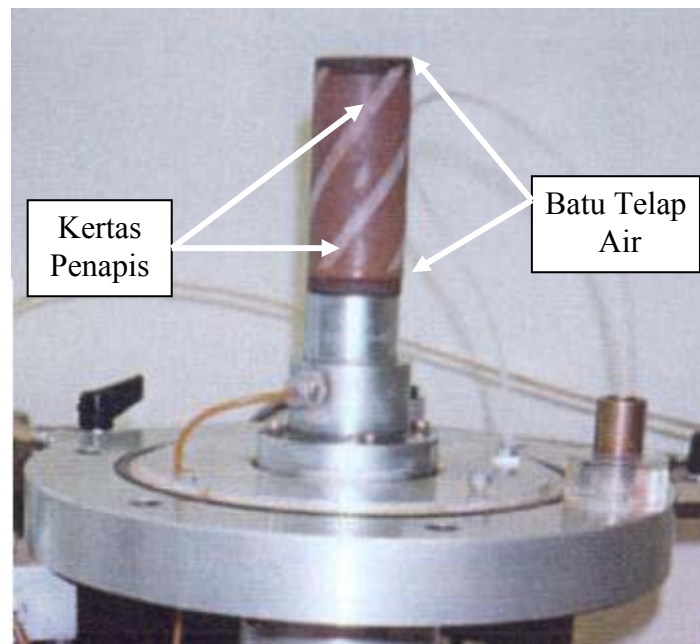
Rajah 4.12 : Kedudukan kertas penapis pada sampel



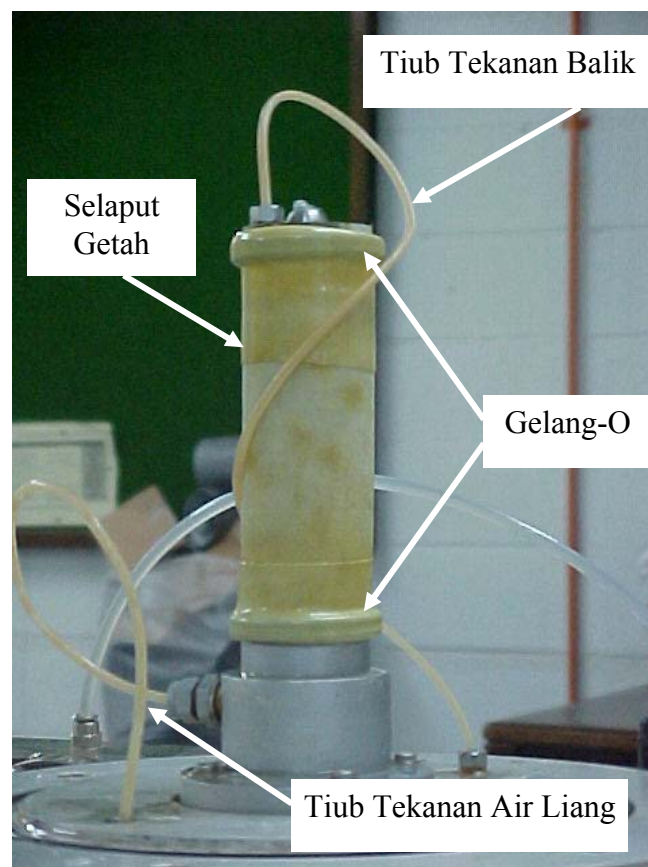
Rajah 4.13 : Susunan peralatan sistem GDS



Rajah 4.14: Sel tiga paksi



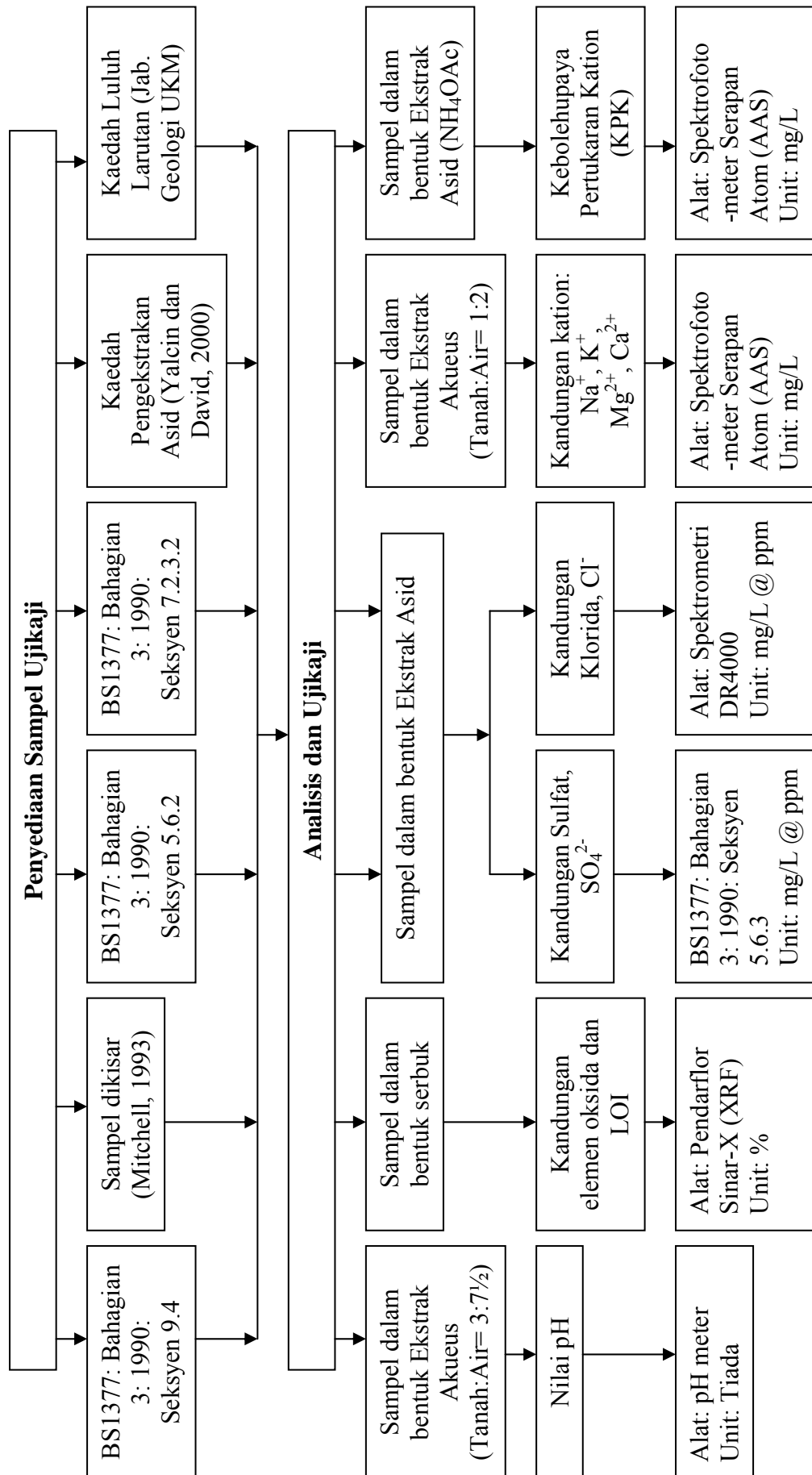
Rajah 4.15: Kedudukan sampel dan kertas penapis



Rajah 4.16: Kedudukan spesimen

Jadual 4.8 : Tekanan sel dan tekanan balik yang dikenakan pada setiap sampel

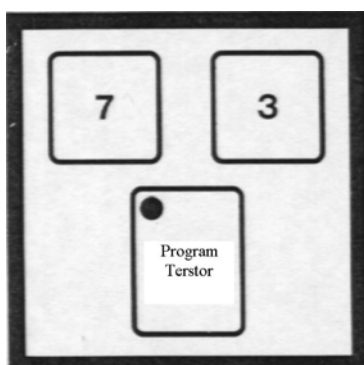
Sampel	Peringkat Ujikaji	Tekanan Sel (kN/m²)	Tekanan Balik (kN/m²)	Tekanan Berkesan (kN/m²)
A	Penepuan	500	495	5
	Pengukuhan	500	400	100
	Ricihan	500	400	100
B	Penepuan	500	495	5
	Pengukuhan	600	400	200
	Ricihan	600	400	200
C	Penepuan	500	495	5
	Pengukuhan	800	400	400
	Ricihan	800	400	400



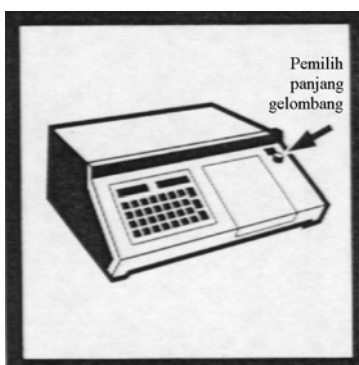
Rajah 4.17: Carta Alir Penentuan Komposisi Kimia Tanah Baki



Rajah 4.18 : Peralatan Meter pH



(i)



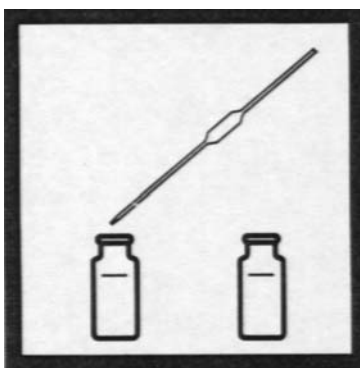
(ii)



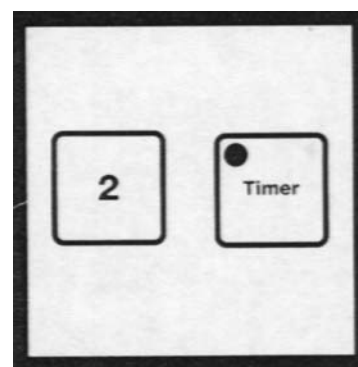
(iii)



(iv)



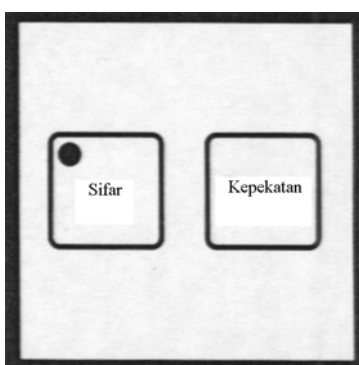
(v)



(vi)



(vii)

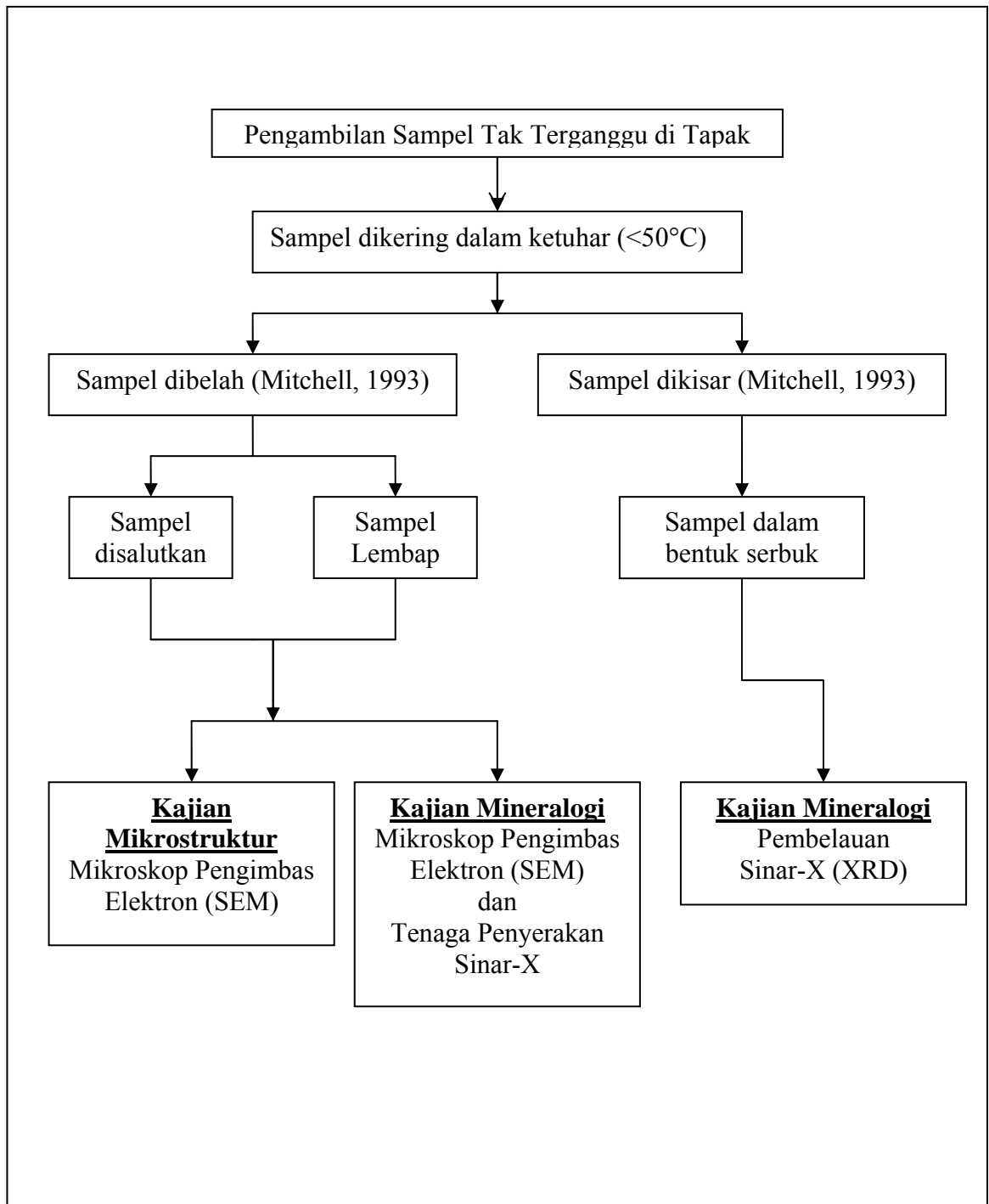


(viii)



(ix)

Rajah 4.19 : Langkah-langkah Tipikal dalam Pengujian Kepekatan Klorida



Rajah 4.20: Carta Alir Penentuan Mineralogi dan Mikrostruktur Tanah Baki



Rajah 4.21 : Penyediaan Sampel bagi Ujikaji Pendarflor Sinar-X (XRF)

BAB V

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

5.0 Pengenalan

Bab ini menghuraikan ciri-ciri kejuruteraan tanah baki di Malaysia melalui ujikaji berdasarkan BS 1377 (1990) dan Head (1988, 1992). Data-data tersebut telah dianalisis bagi mendapatkan parameter-parameter tanah. Keputusan ujikaji yang telah dianalisis yang melibatkan ciri-ciri indeks, kebolehmampatan, kekuatan ricih, mineralogi, mikrostruktur, mikrofabrik dan ciri-ciri kimia seperti nilai pH, kepekatan anion seperti sulfat (SO_4^{2-}) dan klorida (Cl^-), kepekatan kation seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), natrium (Na^+) dan kalium (K^+), dan kebolehpaya pertukaran kation (KPK) dipersembahkan dalam bentuk graf dan jadual bagi memudahkan rujukan. Ciri-ciri kejuruteraan yang diperoleh juga dibandingkan dengan keputusan di dalam kajian literatur. Selain itu, korelasi diantara ciri-ciri kejuruteraan juga diterbitkan. Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan dihasilkan dan dibahagikan mengikut lokasi. Dalam bab ini, data-data mentah dan keputusan ujikaji ditunjukkan dalam bentuk jadual, graf dan rajah.

5.1 Kandungan Lembapan dan Graviti Tentu

5.1.1 Kandungan Lembapan

Penentuan kandungan lembapan semulajadi tanah adalah amat penting kerana ciri-ciri tanah, terutamanya tanah jelekit dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Jadual 5.1 menunjukkan kandungan lembapan semulajadi tanah yang ditentukan di awal proses penyediaan sampel bagi ujikaji makmal selepas sampel dikeluarkan daripada tiub pensampel. Daripada Jadual 5.1, didapati kandungan lembapan semulajadi tanah berjulat antara 10 % - 46 %. Julat ini hampir menyamai kajian yang dijalankan oleh Sreekantiah (1987), Komoo (1989), Todo & Pauzi (1989), Tan (1995) dan Rahardjo (2002).

Namun begitu sampel dari Senai, Johor (SN1) adalah jauh berbeza daripada julat tersebut dengan kandungan lembapan yang tinggi iaitu 88%. Walaupun begitu nilai kandungan lembapan ini hampir menyamai kajian yang dijalankan oleh Komoo (1989) bagi tanah di Kuala Lumpur yang mencapai nilai 99%. Kandungan lembapan yang tinggi ini disebabkan oleh kandungan lempung yang tinggi bagi sampel dari Senai yang dapat dilihat di dalam Jadual 5.2, iaitu sebanyak 66 %.

Rajah 5.1 menunjukkan korelasi di antara kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan lempung. Didapati, kandungan lembapan semulajadi bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Pertambahan kandungan lembapan semulajadi dihubungkan melalui dua had persamaan, iaitu persamaan yang mewakili had atas dan had bawah. Persamaan tersebut adalah:

$$w = 0.76 (\% \text{ lempung}) + 38.48 \quad \text{-had atas} \quad (5.1)$$

$$w = 0.22 (\% \text{ lempung}) + 6.24 \quad \text{-had bawah} \quad (5.2)$$

Kandungan lempung yang tinggi mempunyai keluasan permukaan yang tinggi dan dapat menyerap dan mengekalkan kandungan air dengan lebih tinggi berbanding tanah yang mempunyai kandungan lempung yang rendah.

Data yang diperoleh juga menunjukkan secara umumnya kandungan lembapan semulajadi berkadar terus dengan kedalaman. Kandungan lembapan semulajadi tanah didapati bertambah dengan bertambahnya kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.2. Ini kerana tanah pada bahagian atas lebih terdedah kepada pancaran matahari yang mengakibatkan kandungan lembapan bertambah dengan kedalaman tanah.

5.1.2 Graviti Tentu

Nilai graviti tentu yang diperoleh melalui ujian piknometer kecil adalah berada di dalam julat 2.50-2.74 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.1. Kebanyakan sampel yang diuji mempunyai nilai graviti tentu ber julat di antara 2.60-2.67. Hanya sampel pada BH 2 pada kedalaman 1.5 - 4.5 m dari Pulai Chondong mempunyai nilai graviti tentu yang lebih besar daripada 2.70. Perbandingan telah dibuat dengan beberapa kajian lepas untuk tanah baki di Malaysia, Singapura dan Thailand seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.3. Julat yang diperoleh adalah berbeza-beza tetapi keputusan kajian oleh Todo (1989) bagi tanah baki di Malaysia dan Singapura adalah hampir sama.

Graviti tentu mempunyai korelasi dengan nisbah lompong asal di dalam sampel tanah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.4. Rajah tersebut menunjukkan nilai graviti tentu tanah berkurang dengan pertambahan nisbah lompong asal dalam tanah. Nisbah lompong yang tinggi menggambarkan isipadu pepejal adalah rendah berbanding dengan tanah yang mempunyai nisbah lompong yang rendah. Isipadu pepejal ini secara tidak langsung mempengaruhi ketumpatan tanah tersebut. Jika dilihat daripada persamaan untuk mendapatkan nilai graviti tentu, $G_s = \rho_s / \rho_w$ dimana nilai ρ_w adalah malar, maka semakin kecil nilai ketumpatan tanah, semakin kecil nilai graviti tentu tanah. Kolerasi diantara graviti tentu tanah dengan nisbah lompong asal tanah boleh diwakili oleh dua julat persamaan iaitu:

$$G_s = 2.9863 - 0.23e_o \quad \text{- had atas} \quad (5.3)$$

$$G_s = 2.6786 - 0.21e_o \quad \text{- had bawah} \quad (5.4)$$

di mana,

G_s = graviti tentu tanah

e_o = nisbah lompong asal

Nilai graviti tentu juga boleh dihubungkan dengan kandungan lempung di dalam tanah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.5. Didapati nilai graviti tentu berkurang dengan pertambahan kandungan lempung. Pertambahan kandungan lempung ini menghasilkan pertambahan nisbah lompong yang mempengaruhi nilai graviti tentu seperti yang diterangkan di atas. Dua persamaan kolerasi mewakili had atas dan bawah telah diwujudkan. Persamaan-persamaan tersebut adalah:

$$G_s = 2.87 - 0.0036 (\% \text{ lempung}) \quad - \text{ had atas} \quad (5.5)$$

$$G_s = 2.64 - 0.0079 (\% \text{ lempung}) \quad - \text{ had bawah} \quad (5.6)$$

5.2 Taburan Saiz Zarah

Ujikaji penentuan taburan saiz zarah berpandukan BS 1377: Part 2: 1990 dengan menggunakan kaedah ayakan basah dan hidrometer. Jadual 5.2 menunjukkan peratus kerikil, pasir, kelodak dan lempung bagi setiap lokasi serta kedalaman. Dari analisis taburan saiz zarah ini, secara keseluruhan didapati tanah baki granit yang diuji mengandungi 0 – 37 % kerikil, 22-71% pasir, 7-57% kelodak dan 3-66% lempung. Rajah 5.7 menunjukkan carta bar bagi peratus kandungan lempung, kelodak, pasir dan kerikil untuk setiap sampel yang diuji.

Rajah 5.8 menunjukkan plotan taburan saiz zarah bagi setiap sampel. Keputusan menunjukkan kepelbagaian lengkung plotan diperoleh walaupun pada kedalaman yang sama. Ini menunjukkan bahawa tanah baki adalah tak homogen. Justeru itu, korelasi antara taburan saiz zarah dengan kedalaman adalah sukar untuk dilakukan. Kepelbagaian lengkung-lengkung plotan ini disebabkan oleh lokasi pensampelan. Lokasi pensampelan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan perbezaan taburan saiz zarah walaupun sampel diambil pada kedalaman yang sama

seperti yang dinyatakan oleh Gidigasu & Bhatia (1971) dan Gidigasu (1972). Ini adalah disebabkan kedalaman tanah baki berbeza dari satu lokasi ke satu lokasi yang lain akibat dari kadar luluhawa yang berbeza. Faktor-faktor yang mempengaruhi luluhawa seperti suhu, taburan hujan dan bentuk mukabumi menyumbang kepada perbezaan taburan saiz zarah di dalam tanah seperti yang dinyatakan oleh Jenny (1941) dalam Gidigasu (1976). Justeru itu secara tidak langsung taburan saiz zarah juga adalah berbeza walaupun sampel diambil pada kedalaman yang sama.

Rajah 5.8 hingga Rajah 5.10 pula menunjukkan taburan saiz zarah bagi kedalaman 1–2m, 3–4m, dan 4-7 m dengan masing-masing mempunyai peratus lempung berjulat antara 8-44 %, 14-66 % dan 3-23 %. Kandungan kelodak pula masing-masing berjulat antara 7-43%, 10-57% dan 16-54%. Kandungan pasir pula berjulat antara 22-71%, 8 -66% dan 23-69%. Kerikil pula masing-masing berjulat antara 0-33%, 0-37% dan 0-12%. Pada kedalaman 1-2 m dan 4-7 m tidak terdapat perbezaan peratusan lempung yang ketara. Namun begitu pada kedalaman 3-4 meter, didapati kandungan lempung mula berkurang tetapi bagi sampel dari Senai didapati kandungan lempung mencapai 66 %. Nilai ini adalah tinggi berbanding dengan sampel lain bagi kedalaman yang sama. Ini menunjukkan luluhawa yang tinggi telah berlaku di kawasan Senai sehingga pembentukan tanah baki yang dalam.

5.3 Had Atterberg

Data-data yang diperoleh bagi ujikaji had-had Atterberg iaitu had cecair (w_L) dan had plastik (w_P).

5.3.1 Had Cecair

Had cecair (w_L) diperoleh daripada ujian penusukan kun dan keputusan yang diperoleh adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.3. Daripada jadual tersebut, nilai had cecair adalah berjulat antara 30% – 119%. Namun begitu,

kebanyakan sampel mempunyai nilai di antara 50% - 70%. Nilai yang diperoleh didapati hampir sama dengan keputusan yang dinyatakan oleh Rahardjo (2002), Winn, *et al.* (2001), Tan (1995), Ramli (1991), Komoo (1989) dan Balasubramaniam, *et al.* (1985). Nilai had cecair yang tinggi diperoleh daripada sampel Senai (SN1) iaitu 119%, jauh berbeza daripada sampel lain. Namun begitu kajian oleh Affendi, *et al.* (1994a), Ting & Ooi (1976) dan West & Dumbleton (1970) juga menunjukkan keputusan yang tinggi. Analisis taburan saiz zarah menunjukkan sampel tanah tersebut mempunyai kandungan lempung yang tinggi iaitu 66 peratus. Faktor ini didapati boleh mempengaruhi nilai had cecair yang diperoleh. Kecenderungan zarah tanah untuk menarik atau menyerap air ke permukaan zarah tanah, menjadikan nilai had cecair lebih tinggi. Apabila saiz zarah semakin kecil, maka luas permukaan zarah tanah semakin meningkat (Atkinson, 1993). Justeru itu kandungan air yang diserap dipengaruhi oleh kandungan lempung di dalam tanah. Rajah 5.11 menunjukkan kolerasi di antara had cecair dengan kandungan lempung bagi tanah yang diuji. Secara umumnya, didapati nilai had cecair bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Keputusan ini adalah menyamai kajian yang dijalankan oleh Gidigasu (1976). Plotan menunjukkan keputusan dibatasi oleh dua persamaan iaitu:

$$w_L = 0.88 (\% \text{ lempung}) + 62 \quad \text{-had atas} \quad (5.7)$$

$$w_L = 0.70 (\% \text{ lempung}) + 23 \quad \text{-had bawah} \quad (5.8)$$

Had cecair adalah kandungan air ketika tanah berubah dari fasa plastik ke fasa cecair. Apabila kandungan air melebihi nilai had cecair, maka tanah tersebut berkeadaan buburan dan tidak mampu untuk menanggung tegasan. Bagi tanah baki yang berkeadaan separa tepu, tanah yang mempunyai had cecair yang tinggi menunjukkan ia berupaya menanggung tegasan pada kandungan air yang tinggi berbanding tanah yang mempunyai nilai had cecair yang rendah. Faktor ini perlu diambil kira dalam rekebentuk cerun di mana Malaysia mengalami curahan hujan tahunan yang tinggi.

5.3.2 Had Plastik

Jadual 5.3 menunjukkan nilai had plastik (w_p) yang telah diperoleh daripada ujikaji. Secara umumnya nilai had plastik yang diperoleh adalah berjulat di antara 18% - 46%. Namun begitu kebanyakan sampel berjulat di antara 20% - 40% sahaja. Nilai yang diperoleh didapati hampir sama dengan kajian oleh Rahardjo (2002), Tan (1995), dan Chan & Chin (1972). Daripada keputusan ujikaji dan pengkaji lepas, didapati nilai had plastik bagi tanah baki granit tidak melebihi 50. Gidigasu (1976) merumuskan bahawa had plastik bergantung kepada kandungan lempung di dalam tanah. Namun begitu, dari keputusan ujikaji yang dijalankan, korelasi antara had plastik dan kandungan lempung sukar diterbitkan kerana titik-titik didapati berselerak.

Jika tegasan dikenakan pada tanah yang berkeadaan plastik, tegasan semakin meningkat dengan pertambahan terikan dan akan gagal pada tegasan maksimum pada keterikan tertentu. Selepas tanah mencapai tegasan maksimum tersebut, jika keterikan bertambah tanah tersebut masih mampu menanggung tegasan walaupun nilainya semakin menurun. Jika tanah berkeadaan separa pepejal atau rapuh, tanah tersebut mampu mencapai tegasan maksimum tetapi akan gagal serta merta seperti yang dinyatakan oleh Holtz & Kovacs (1981).

5.3.3 Indeks Keplastikan

Indeks keplastikan (I_p) diperoleh daripada beza di antara nilai had cecair dengan nilai had plastik. Nilai indeks keplastikan yang telah diperoleh ditunjukkan dalam Jadual 5.3. Daripada jadual tersebut, nilai indeks keplastikan yang diperoleh berada dalam julat 11% - 77%. Kebanyakan sampel mempunyai julat nilai di antara 20% - 50%. Keputusan yang diperoleh dari ujikaji adalah hampir sama dengan sampel tanah hasil kajian Rahardjo (2002), Winn, *et al.* (2001), Tan (1995), Tan & Ong (1993), Ramli (1991) dan Poh, *et al.* (1985). Kajian oleh Balasubramaniam, *et al.* (1985) dan West & Dumbleton (1970) menunjukkan nilai indeks keplastikan yang diperoleh adalah sehingga melebihi 70%. Keadaan ini sama dengan sampel

tanah dari Senai yang mencapai nilai 77%. Nilai indeks keplastikan yang tinggi bagi sampel dari Senai adalah dipengaruhi oleh had cecair yang tinggi disebabkan oleh kandungan lempung yang tinggi. Sampel dari Brinchang pula mempunyai nilai indeks keplastikan yang kecil disebabkan kandungan lempung yang kecil. Rajah 5.12 menunjukkan korelasi di antara indeks keplastikan dengan kandungan lempung. Didapati nilai indeks keplastikan bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Dua garisan diwujudkan bagi mewakili had atas dan had bawah dengan persamaan berikut:

$$I_p = 0.56 (\% \text{ lempung} + 73) \quad \text{-had atas} \quad (5.9)$$

$$I_p = 0.56 (\% \text{ lempung} + 12) \quad \text{-had bawah} \quad (5.10)$$

Graf indeks keplastikan melawan had cecair diplotkan bagi mendapatkan carta keplastikan seperti ditunjukkan dalam Rajah 5.13. Dalam carta keplastikan tanah sistem British itu, didapati semua titik berada di atas garisan 'A' kecuali sampel dari SD1, SD2 dan BM4. Keputusan yang diperoleh adalah berbeza daripada kajian yang dijalankan oleh Tan & Ong (1993) tetapi menyamai keputusan oleh Townsend (1985) dimana titik-titik yang diperoleh juga terletak pada kedua-dua belah garisan A. Kepelbagaian mineral dalam tanah serta tahap luluhawa kimia yang berbeza mempengaruhi kedudukan titik-titik tersebut seperti yang dinyatakan oleh Todo, *et al.* (1994). Namun begitu titik-titik tersebut adalah selari dengan garisan 'A' dan satu garisan baru diwujudkan bagi mewakili titik-titik tersebut iaitu dengan persamaan:

$$I_p = 0.68 (w_L - 10) \quad (5.11)$$

di mana,

I_p = indeks keplastikan

w_L = had cecair

Berpandukan carta keplastikan tersebut, didapati tanah baki granit mempunyai keplastikan rendah sehingga tersangat tinggi. Namun begitu kebanyakan sampel berada dalam keplastikan tinggi sehingga keplastikan sangat tinggi. Keputusan ini menyamai keputusan yang diperoleh oleh Tan & Ong (1993).

Secara umumnya, tanah yang mempunyai keplastikan yang tinggi mempunyai kebolehtelapan yang rendah, kebolehmampatan yang tinggi dan masa pengukuhan yang lama dan ianya lebih sukar untuk dipadatkan apabila digunakan sebagai bahan pengisi atau bahan tambak seperti yang dinyatakan oleh Head (1992).

5.3.4 Indeks Kecairan

Dari Jadual 5.3, didapati dua kategori indeks kecairan (I_L) yang diperoleh iaitu $I_L < 0$ dan $0 < I_L < 1$. Nilai I_L yang negatif menunjukkan nilai kandungan lembapan semulajadi terletak di bawah had plastik dan tanah mempunyai pecahan rapuh apabila dikenakan ricihan. Ini berlaku pada sampel dari Wakaf Tapai (WT), Bukit Mertajam (BM1, BM2 dan BM4), Sedenak (SD2) dan Tampin (TM). Ini menunjukkan keadaan sampel dari lokasi tersebut adalah separa pepejal sehingga pepejal. Tanah ini mempunyai kekuatan yang tinggi apabila dikenakan ricihan tetapi ianya bersifat rapuh menyebabkan tanah tidak boleh menanggung sebarang tegasan selepas kegagalan pada tegasan maksimum.

Sampel tanah yang mempunyai nilai I_L antara 0 dan 1 menunjukkan sampel tanah berkeadaan plastik dan melekit. Tanah ini mempunyai kekuatan yang kurang berbanding dengan sampel yang mempunyai $I_L < 0$. Namun begitu tiada sampel yang mempunyai nilai I_L yang lebih besar daripada 1 yang mana keadaan ini menunjukkan tanah berada dalam buburan dan tidak mempunyai kekuatan ricih. Jika keadaan ini berlaku, pensampelan tanah adalah amat rumit untuk dijalankan.

5.3.5 Aktiviti

Jadual 5.3 menunjukkan nilai aktiviti (A) yang diperoleh daripada ujikaji . Didapati nilai A berjulat di antara 0.70 – 4.0. Head (1992) telah mengkategorikan keadaan tanah berdasarkan nilai aktiviti ini. Bagi nilai aktiviti < 0.75 lempung adalah tak aktif, 0.75-1.25 adalah lempung normal, 1.25-2 adalah lempung aktif dan $A > 2$

adalah lempung yang sangat aktif. Didapati sampel dari PC4 mempunyai lempung yang tak aktif. Sementara sampel dari PC5, BM3, BM4, SN1, MR1, BR1, TM1 dan TM2 mempunyai lempung yang normal. Bagi sampel WT1, WT4, PC1, PC2, PC6, dan BM2 mempunyai lempung yang aktif. Lempung yang tinggi keaktifannya pula adalah sampel dari WT2, WT3, BM1, SD1, SD2, BR2, TM3 dan TM4.

Daripada nilai aktiviti tersebut didapati aktiviti adalah berselerak atau berbeza-beza walaupun pada lokasi yang sama. Ini disebabkan oleh sifat semulajadi tanah yang tak homogen dengan peratus lempung yang berbeza dan bergantung kepada keadaan luluhawa di kawasan tersebut. Semakin tinggi nilai aktiviti tanah, maka pengaruh lempung terhadap ciri-ciri tanah menjadi semakin penting dan nilainya aktiviti berupaya untuk berubah disebabkan oleh kation boleh tukar seperti magnesium dan sodium dan komposisi cecair di dalam tanah.

5.4 Pengelasan Tanah

Berdasarkan sistem pengelasan piawai British, tanah dikelaskan mengikut saiz butiran sama ada tanah kasar atau halus dan carta keplastikan digunakan untuk pengelasan tanah berzarah halus. Bagi tanah yang berzarah halus yang mengandungi lebih 35% zarah halus (saiz kelodak dan lempung), carta keplastikan digunakan bagi menentukan sama ada ianya dikategorikan dalam lempung (C) atau kelodak (M). Berdasarkan carta keplastikan dalam Rajah 5.13, didapati semua titik-titik yang diplotkan berada di atas garisan 'A' kecuali sampel dari Sedenak dan Bukit Mertajam (BM4). Titik-titik yang terletak di atas garisan 'A' dikategorikan dalam kumpulan lempung (C). Namun begitu bagi kumpulan tanah yang mengandungi zarah halus kurang daripada 35% tanah tersebut adalah jenis pasir atau kelikir dan bergantung kepada peratus kelikir atau pasir yang mana lebih banyak wujud. Sampel WT4, BM1, BR2, TM3 dan TM 4 didapati mempunyai peratus zarah halus kurang daripada 35% dan peratus pasir yang lebih tinggi berbanding kerikil. Jadi tanah tersebut adalah pasir berlempung atau pasir berkelodak dengan simbol SC atau SM dan ianya bergantung kepada nilai had cecair bagi penggunaan simbol L, I, H, V atau

E. Secara umumnya, pengelasan tanah menggunakan sistem pengelasan tanah British (BSCS) ditunjukkan dalam Jadual 5.2.

Daripada sistem pengelasan sistem British tersebut, didapati tanah baki granit boleh dikategorikan sebagai lempung, lempung berpasir, lempung berkelikir, kelodak berpasir, kelodak berkerikil, pasir berlempung dan pasir berkelodak. Namun begitu, kebanyakan sampel adalah tanah berlempung kepada lempung berpasir. Keputusan oleh pengkaji dahulu juga menunjukkan tanah baki granit adalah lempung berpasir atau kelodak berpasir seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.5.

5.5 Ciri-ciri Pengukuhan

Sebanyak 24 sampel tanah diuji dalam ujikaji pengukuhan tanah satu dimensi menggunakan peralatan oedometer. Ujikaji pengukuhan ini bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter pengukuhan seperti nisbah lompong asal (e_o), tekanan prapengukuhan (P_c), indeks mampatan (C_c), pekali kebolehmampatan isipadu (m_v) dan pekali pengukuhan (c_v). Daripada parameter-parameter ini juga, nilai pekali kebolehtelapan (k), diperoleh menggunakan persamaan seperti yang dicadangkan oleh (Head, 1992).

Dalam ujikaji ini, enapan tanah diukur menggunakan tolok dail. Graf nisbah lompong e -log tegasan diplotkan bagi mendapatkan nilai indeks mampatan yang diperoleh daripada kecerunan graf tersebut dan tekanan prapengukuhan tanah. Graf $e - \log$ masa (t) diplotkan bagi mendapatkan nilai pekali pengukuhan berdasarkan kaedah Casagrande.

5.5.1 Nisbah Lompong

Penentuan nisbah lompong asal adalah amat penting dalam sesuatu struktur tanah kerana nisbah lompong banyak mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan tanah. Ini

termasuklah kebolehmampatan, kebolehtelapan dan kekuatan ricih tanah tersebut. Nisbah lompong diperoleh menggunakan kiraan balik data-data ujian pengukuhan. Nisbah lompong yang diperoleh daripada pengiraan adalah berjulat 0.528 sehingga 1.456 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Nilai tersebut agak tinggi kerana Malaysia mengalami curahan hujan yang tinggi dan luluhawa kimia dan larut lesap akan berlaku dengan kadar yang tinggi. Hasilnya, nilai nisbah lompong asal yang tinggi diperoleh sama seperti yang dinyatakan oleh Brink & Kantey (1961) (dalam Blight (1997)). Nilai yang diperoleh ini adalah hampir menyamai julat yang diberikan oleh Ramli (1991) bagi tanah baki di Malaysia dan Irfan (1996), Winn *et al.* (2001) dan Chang & Broms (1990) bagi tanah baki di Singapura. Nilai nisbah lompong asal yang diperolehi bagi tanah baki di Malaysia dan Singapura adalah hampir sama. Ini disebabkan oleh keadaan iklim yang merupakan salah satu faktor pembentukan tanah baki adalah sama bagi kedua-dua negara.

Nisbah lompong asal juga dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi di dalam tanah. Semakin tinggi nilai kandungan lembapan di dalam tanah, maka semakin tinggi nilai nisbah lompong asal. Daripada takrifan nisbah lompong,

$$e = wG_s/S_r. \quad (5.12)$$

di mana,

w = kandungan lembapan

G_s = graviti tentu

S_r = darjah ketepuan

Justeru itu, apabila G_s dan S_r tetap, maka jika kandungan lembapan meningkat, nilai nisbah lompong juga meningkat. Ini dibuktikan melalui korelasi di antara nisbah lompong asal dengan kandungan lembapan semulajadi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.14. Korelasi ini tidak dapat memberikan satu persamaan bererti, tetapi keputusan dilingkungi had – had atas dan bawah seperti berikut:

$$e_o = 0.03w + 64 \quad \text{- had atas} \quad (5.13)$$

$$e_o = 0.01w + 0.38 \quad \text{- had bawah} \quad (5.14)$$

di mana,

- e_o = nisbah lompong asal
 w = kandungan lembapan semulajadi

5.5.2 Tekanan Prapengukuhan

Tekanan prapengukuhan (P_c) bermaksud tekanan tegak berkesan maksimum yang pernah bertindak ke atas lapisan tanah pada suatu masa yang lampau. Tekanan prapengukuhan boleh diperoleh daripada plotan nisbah lompong (e) melawan log tegasan. Daripada plotan lengkung tersebut, didapati nilai tekanan prapengukuhan yang diperoleh berjulat antara 50 – 322 kN/m² seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.4.

Nilai tegasan sebenar di tapak (P_o) yang diperoleh daripada ujikaji berada dalam julat 23 – 113 kN/m² seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Nisbah pengukuhan lebih (OCR) yang diperoleh adalah bernilai lebih besar daripada 1. Ini menunjukkan tanah baki adalah bersifat terkukuh lebih, sama seperti yang dinyatakan oleh Barksdale & Blight (1997).

Keadaan tanah baki yang bersifat terkukuh lebih ini disebabkan oleh perubahan jumlah tegasan iaitu pemindahan tanggungan atas masa lalu disebabkan oleh hakisan geologi terutama bagi tanah baki di kawasan cerun yang dapat mengurangkan tegasan tegak tanah. Pengubahsuaian kimia akibat luluhawa, curahan hujan dan penukaran ion juga menjadikan tanah baki terkukuh lebih. Berdasarkan profil luluhawa, darjah luluhawa semakin berkurang dengan kedalaman. Justeru itu, tegasan atas semakin berkurangan disebabkan oleh pembentukan lempung yang kurang tumpat akibat larut lesap mineral-mineral.

5.5.3 Indeks Mampatan

Indeks mampatan (C_c) merupakan kecerunan bahagian lurus bagi lengkung nisbah lompang asal (e_o) melawan log tegasan (σ). Jadual 5.4 menunjukkan nilai parameter indeks mampatan satu – dimensi yang berjulat di antara 0.11 sehingga 0.42.

Nilai indeks mampatan didapati bergantung kepada nisbah lompang asal di dalam tanah seperti ditunjukkan dalam plotan dalam Rajah 5.15. Rajah tersebut menunjukkan korelasi di antara indeks mampatan dengan nisbah lompang asal. Nilai indeks mampatan didapati bertambah dengan pertambahan nisbah lompang asal. Dua garisan diwujudkan bagi mewakili had titik-titik tersebut dengan persamaan:

$$C_c = 0.3 (e_o + 0.12) \quad \text{- had atas} \quad (5.15)$$

$$C_c = 0.3 (e_o - 0.38) \quad \text{- had bawah} \quad (5.16)$$

di mana,

C_c = indeks mampatan

e_o = nisbah lompang asal

Dua garisan yang diwujudkan itu didapati hampir menyamai garisan yang dibangunkan oleh pengkaji sebelum ini iaitu Azzouz, *et al.* (1977) dan Poh, *et al.* (1985). Pengukuhan adalah satu proses pengeluaran air liang yang mengisi lompang-lompang di dalam tanah. Justeru itu, semakin tinggi lompang di dalam tanah, maka semakin tinggi air liang dapat dikeluarkan. Ini secara tidak langsung meningkatkan nilai indeks mampatan.

Kandungan lempung di dalam tanah baki juga didapati mempengaruhi nilai indeks mampatan tanah seperti yang dinyatakan oleh Vaughan (1988). Nilai indeks mampatan bertambah dengan pertambahan kandungan lempung seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.16. Dua garisan diwujudkan bagi mewakili had atas dan had bawah dengan persamaan:

$$C_c = 0.0068 (\% \text{ lempung}) + 0.1557 \quad \text{-had atas} \quad (5.17)$$

$$C_c = 0.0042 (\% \text{ lempung}) + 0.0333 \quad \text{-had bawah} \quad (5.18)$$

Struktur lempung adalah sangat halus dan mempunyai luas permukaan yang tinggi dan dapat menarik air ke permukaanya dengan kadar yang tinggi. Ini menyebabkan tanah baki yang mengandungi pecahan lempung yang tinggi mempunyai kandungan air yang tinggi. Apabila semakin tinggi air dapat dikeluarkan dari struktur tanah, maka semakin tinggi pengukuhan berlaku dan semakin tinggi nilai indeks mampatan.

Kandungan lembapan semulajadi berkait rapat dengan kandungan lempung di dalam tanah. Justeru itu, kandungan lembapan semulajadi juga didapati mempengaruhi pengukuhan tanah khasnya indeks mampatan. Dalam Rajah 5.18, didapati nilai indeks mampatan bertambah dengan pertambahan kandungan lembapan semulajadi. Dua garisan diwujudkan yang masing-masing mempunyai persamaan:

$$C_c = 0.006 (w + 32) \quad \text{-had atas} \quad (5.19)$$

$$C_c = 0.004 (w + 15) \quad \text{-had bawah} \quad (5.20)$$

di mana,

C_c = indeks mampatan

w = kandungan lembapan semulajadi

Apabila indeks mampatan dinormalkan dengan $(1 + e_o)$, dan diplotkan dengan kandungan lembapan semulajadi, satu persamaan garis lurus dapat diwujudkan seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 5.18 iaitu:

$$\frac{C_c}{1 + e_o} = 0.004 (w + 15.2) \quad (5.21)$$

di mana,

C_c = indeks mampatan

e_o = nisbah lompong asal

w = kandungan lembapan semulajadi

Indeks mampatan ternormal didapati bertambah dengan bertambahnya kandungan lembapan semulajadi di dalam tanah.

Indeks mampatan juga didapati mempunyai hubungkait dengan had cecair. Indeks mampatan bertambah dengan bertambahnya nilai had cecair. Hubungan di antara indeks mampatan dan had cecair boleh dilihat di dalam Rajah 5.19. Titik-titik yang diperolehi adalah berselerak, namun begitu kebanyakan titik berada di sekitar garisan yang dibangunkan oleh Terzaghi & Peck (1967) dan Azzouz, *et al.* (1977). Titik-titik yang diperolehi juga terletak di dalam dua garisan yang diwujudkan dengan persamaan:

$$C_c = 0.009 (w_L - 8) \quad \text{-had atas} \quad (5.22)$$

$$C_c = 0.003 (w_L - 22) \quad \text{-had bawah} \quad (5.23)$$

Had cecair didapati bertambah dengan pertambahan kandungan lempung seperti yang diterangkan dalam para 5.3.1. Vaughan (1988) menyatakan bahawa indeks mampatan bertambah dengan pertambahan aktiviti dan kandungan lempung dalam tanah baki. Justeru itu, nilai indeks mampatan juga bertambah dengan pertambahan had cecair.

5.5.4 Pekali Kebolehmampatan isipadu

Pekali kebolehmampatan isipadu (m_v) adalah perubahan isipadu seunit pertambahan di dalam tegasan berkesan. Nilai m_v yang diperolehi adalah bergantung kepada tegasan yang dikenakan ke atas sampel tanah. Namun begitu, berdasarkan BS 1377, penentuan pekali m_v dikira untuk pertambahan tegasan sebanyak 100 kN/m^2 melebihi tekanan tanggungan atas berkesan bagi tanah di situ pada kedalaman yang dikehendaki. Dari kajian ini, nilai m_v bagi tanah yang diuji ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Didapati nilai m_v berada dalam julat $0.08 \text{ m}^2/\text{MN} - 1.27 \text{ m}^2/\text{MN}$. Berdasarkan Head (1992), keputusan menunjukkan tanah baki yang dikaji mempunyai pekali kebolehmampatan isipadu yang rendah sehingga tinggi. Sampel-sampel yang mempunyai pekali kebolehmampatan isipadu yang tinggi adalah PC4, PC5, BM4,

SN1, BR1, TM1, TM2, TM 3 dan TM 4. Pekali kebolehmampatan isipadu yang tinggi ini disebabkan oleh nisbah lompong yang tinggi dalam sampel-sampel tersebut. Rajah 5.21 menunjukkan korelasi di antara pekali kebolehmampatan isipadu dengan nisbah lompong asal. Didapati pekali kebolehmampatan isipadu bertambah dengan pertambahan nisbah lompong asal. Dua garisan dapat diwujudkan bagi mewakili had atas dan bawah titik-titik tersebut dengan persamaan masing-masing adalah:

$$m_v = 3.86 (e_o - 0.48) \quad \text{-had atas} \quad (5.24)$$

$$m_v = 0.24 (e_o - 0.52) \quad \text{-had bawah} \quad (5.25)$$

di mana:

m_v = pekali kebolehmampatan isipadu

e_o = nisbah lompong asal

Pekali kebolehmampatan isipadu juga didapati dipengaruhi oleh nilai tekanan prapengukuhan. Rajah 5.21 menunjukkan korelasi di antara nilai pekali kebolehmampatan isipadu dengan nilai tekanan prapengukuhan. Didapati nilai pekali kebolehmampatan isipadu berkurang dengan pertambahan tekanan prapengukuhan. Korelasi diantara dua paramater tersebut boleh dihubungkan melalui persamaan berikut:

$$m_v = 149.25 P_c^{-1.2216} \quad (5.28)$$

di mana:

m_v = pekali kebolehmampatan isipadu

P_c = tekanan prapengukuhan

Tekanan prapengukuhan yang tinggi menunjukkan tanah tersebut telah mengalami pengubahsuaian kimia yang tinggi akibat luluhawa dan proses larut lesap mineral-mineral. Secara tidak langsung kebolehmampatan tanah juga berkurang.

5.5.5 Pekali Pengukuhan

Pekali pengukuhan (c_v), boleh digunakan sebagai anggaran kepada kadar pengukuhan di tapak. Pekali pengukuhan yang diperoleh menggunakan kaedah

Casagrande didapati berjulat antara 1.53 m²/tahun sehingga 49.64 m²/tahun seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Nilai yang diperoleh dari ujikaji adalah lebih kecil daripada keputusan kajian Balasubramaniam, *et al.* (1985). Berdasarkan Head (1982), bagi julat nilai yang diperoleh, jenis tanah adalah berkeplastikan sederhana dan rendah. Pekali pengukuhan yang agak tinggi menunjukkan kadar pengukuhan yang mungkin berlaku adalah agak tinggi. Walaupun bagaimanapun, tiada korelasi dapat diwujudkan antara c_v dengan parameter-parameter lain disebabkan titik-titik pelotan adalah berselerak dengan nilai R^2 adalah terlalu kecil.

5.5.6 Pekali Kebolehtelapan

Nilai pekali kebolehtelapan diperoleh menggunakan rumus yang diberikan oleh Head (1988) daripada parameter-parameter pengukuhan tanah iaitu nilai pekali pengukuhan (c_v) dan nilai pekali kebolehmampatan (m_v). Nilai pekali kebolehtelapan diambil pada tegasan yang hampir menyamai tegasan berkesan bagi tanah di tapak. Didapati nilai pekali kebolehtelapan adalah berjulat antara 0.011×10^{-9} m/s sehingga 44.71×10^{-9} m/s seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Nilai yang diperoleh adalah hampir menyamai kajian yang dijalankan oleh De Graft-Johnson, *et al.* (1969), Balasubramaniam, *et al.* (1985), Vaughan (1988) dan Winn, *et al.* (2001). Julat tersebut menunjukkan kebolehtelapan tanah baki granit adalah sangat rendah berdasarkan Head (1988). Nilai pekali kebolehtelapan yang rendah ini menunjukkan bahawa tanah baki di kawasan ujikaji adalah tanah baki yang matang seperti yang dinyatakan oleh Garga & Blight (1997).

5.6 Kekuatan Tanah Baki

5.6.1 Pengenalan

Sebanyak 16 sampel tanah digunakan dalam ujikaji kekuatan ricih tanah tiga paksi terkukuh tak tersalir menggunakan peralatan GDS. Ujikaji kekuatan ricih ini

bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter kekuatan ricih tanah seperti nilai kejelekitan berkesan (c') dan sudut geseran berkesan (ϕ') yang diperoleh melalui laluan tegasan berdasarkan kaedah MIT. Di samping itu juga, parameter-parameter keadaan genting seperti M ditentukan. Daripada nilai M , sudut genting (ϕ'_c) diperolehi menggunakan persamaan yang diberikan oleh Atkinson (1993).

5.6.2 Laluan Tegasan

Bagi mendapatkan laluan tegasan, graf tegasan sisih (t) melawan tegasan berkesan (s') diplotkan. Di dapati laluan tegasan yang diperoleh adalah menghala ke kanan. Ini menunjukkan tekanan air liang yang terhasil semasa pembebanan adalah negatif yang menunjukkan keputusan ini selaras dengan keputusan ujian pengukuhan yang mana nilai OCR didapati lebih daripada 1 yang menunjukkan tanah berkeadaan terkukuh lebih.

5.6.3 Kejelekitan dan Sudut Geseran Berkesan

Kejelekitan berkesan (c') dan sudut geseran berkesan (ϕ') diperolehi berdasarkan laluan tegasan yang telah diplotkan. Parameter kejelekitan dan sudut geseran berkesan yang diperoleh diringkaskan dalam Jadual 5.5. Dalam Jadual 5.5 tersebut, didapati nilai kejelekitan berkesan yang diperoleh berada dalam julat 0 – 36.4 kN/m². Nilai sudut geseran dalaman berkesan pula adalah berjulat antara 23.4° - 34.5°.

Nilai kejelekitan berkesan yang diperoleh adalah agak kecil tetapi nilai yang diperolehi hampir manyamai keputusan dalam kajian ujian tiga paksi terkukuh tak tersalir yang dijalankan oleh Sreekantiah (1987) di India Barat, Ramli (1991) di lebuh raya Utara Selatan, Kepli (1994) di Melaka dan Rahardjo (2002) di Yishun Singapura. Boleh disimpulkan di sini bahawa nilai kejelekitan berkesan bagi tanah

baki granit adalah agak kecil dan hanya mempunyai nilai maksimum 50 kN/m². Nilai sudut geseran dalaman berkesan yang diperoleh juga didapati hampir sama dengan kajian yang dijalankan oleh Lee (1967), Sreekantiah (1987), Kepli (1994), Leong & Rahardjo (1995), Winn, *et al.* (2001) dan Rahardjo (2002).

Sudut geseran berkesan dipengaruhi oleh kandungan lempung, nisbah lompong, bentuk zarah dan tahap ketepuan. Rajah 5.22 menunjukkan plotan sudut geseran berkesan melawan kandungan lempung. Titik-titik yang diperoleh didapati terletak di sekitar garisan dengan persamaan $\phi' = 0.14$ (234.5 - % lempung) yang diterbitkan oleh Winn, *et al.* (2001). Dua garisan dapat diwujudkan bagi mewakili had atas dan had bawah titik-titik tersebut. Persamaan tersebut adalah:

$$\phi' = 0.15 \text{ (258 - \% lempung)} \quad \text{-had atas} \quad (5.29)$$

$$\phi' = 0.10 \text{ (242 - \% lempung)} \quad \text{-had bawah} \quad (5.30)$$

Graf tersebut menunjukkan pertambahan kandungan lempung dalam tanah menyebabkan sudut geseran berkesan berkurang. Ini adalah kerana, zarah lempung tidak mempunyai sifat geseran tetapi mempunyai sifat kejelekitan.

Graf sudut geseran berkesan melawan kandungan lembapan semulajadi dipelotkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.23. Graf tersebut menunjukkan nilai sudut geseran berkesan juga dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi tanah. Semakin tinggi nilai kandungan lembapan semulajadi, maka semakin kecil nilai sudut geseran berkesan. Kandungan lembapan semulajadi menggambarkan kandungan lempung yang terkandung di dalam tanah. Seperti yang diterangkan sebelum ini, sudut geseran berkesan dipengaruhi oleh kandungan lempung di dalam tanah, maka sudut geseran berkesan juga dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi. Dua garisan bagi mewakili had atas dan had bawah hubungan tersebut dengan persamaan berikut:

$$\phi' = 0.12 \text{ (315 - w)} \quad \text{-had atas} \quad (5.31)$$

$$\phi' = 0.14 \text{ (197 - w)} \quad \text{-had bawah} \quad (5.32)$$

di mana:

- ϕ' = sudut geseran berkesan
 w = kandungan lembapan semulajadi

Graf sudut geseran berkesan melawan indeks keplastikan diplotkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.24. Titik-titik yang diperoleh dari ujikaji adalah berselerak tetapi berada di sekitar garisan dengan persamaan $\phi' = 0.32 (117 - I_p)$ yang diterbitkan oleh Winn, *et al.* (2001). Secara umumnya, nilai sudut geseran berkesan didapati berkurang dengan pertambahan keplastikan tanah.

5.6.4 Parameter Keadaan Genting

Kajian mengenai parameter keadaan genting bagi tanah baki granit masih kurang. Satu percubaan untuk mendapatkan parameter keadaan genting dijalankan. Bagi mendapatkan parameter keadaan genting, graf tegasan sisih (q) melawan tegasan normal purata berkesan (p') dan graf isipadu tentu, (v) melawan tegasan normal purata berkesan (p') diplotkan. Rajah 5.25 menunjukkan garis keadaan genting bagi mendapatkan parameter keadaan genting (M) bagi semua sampel kajian, iaitu sampel dari kawasan Timur, sampel dari kawasan Utara dan sampel dari kawasan Selatan. M merupakan cerun kepada garisan yang diwujudkan dari graf tegasan sisih melawan tegasan normal. Dengan mengetahui nilai M , sudut geseran berkesan genting (ϕ'_c) dapat diperolehi daripada persamaan (Head, 1986)

$$M = \frac{6 \sin \phi'_c}{(3 - \sin \phi'_c)} \quad (5.33)$$

Rajah 2.26 pula menunjukkan plotan graf isipadu tentu melawan tegasan normal purata berkesan. Nilai Γ dan λ diperolehi dari persamaan berikut (Atkinson, 1993):

$$v = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (5.34)$$

di mana,

- ν = isipadu tentu
 Γ = nilai ν pada p' bersamaan dengan 1kN/m^2
 λ = kecerunan garis keadaan genting

Jadual 5.6 menunjukkan nilai M dan ϕ'_c , Γ dan λ yang lebih terperinci. Dari jadual tersebut, didapati nilai M berjalat antara 1.16 – 1.32. Nilai Γ pula berjalat antara 1.99 – 2.03 dan nilai λ pula adalah 0.09. Didapati nilai yang diperoleh adalah sama dengan tanah lempung till yang diberikan oleh Atkinson (1993).

5.7 Nilai pH

Jadual 5.7 dan 5.8 menunjukkan nilai-nilai pH bagi kesemua sampel di Semenanjung Malaysia. Semua sampel menunjukkan tanah baki berasaskan granit adalah berasid.

Pada Rajah 5.27 hingga 5.30 menunjukkan graf hubungan antara nilai pH dengan kedalaman bagi semua bahagian Semenanjung Malaysia. Didapati nilai pH menurun dengan pertambahan kedalaman tanah kecuali beberapa sampel di Sungai Siput (AA1, AA2, AA3, AB1, AB2, dan AB3) dan Bukit Berapit (AC1 dan AC2) yang mana nilai pHnya meningkat dengan kedalaman. Ini adalah disebabkan oleh kehadiran ion hidroksida, OH^- yang mana semakin tinggi kepekatan ion ini maka semakin bertambah nilai pH tersebut serta kehadiran bahan berorganik juga memberi kesan kepada nilai pH. Menurut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), nilai pH yang kurang daripada nilai 7.0 akan menggalakkan pembentukan mineral-mineral khususnya mineral lempung kaolinit sebagai mineral major dan ilit sebagai mineral minor.

Julat nilai pH dapat diperhatikan pada Rajah 5.27 hingga 5.30 yang mana masing-masing menunjukkan julat di bahagian Utara ialah 4.81 hingga 6.93, di bahagian Tengah ialah 4.34 hingga 5.70, di bahagian Selatan ialah 4.68 hingga 6.45

dan di bahagian Timur ialah 4.69 hingga 6.33. Oleh itu, bagi keseluruhan sampel tanah baki, dapat dirumuskan bahawa julat nilai pH bagi Semenanjung Malaysia adalah 4.34 hingga 6.93 yang menunjukkan sampel dalam keadaan berasid mengikut kajian daripada Baize (1993).

Perbandingan antara kajian penulis dengan kajian lepas telah dibuat dan dapat diperhatikan pada Jadual 5.9. Oleh itu, dapat dikatakan bahawa semua kajian bagi nilai pH tanah baki granit adalah termasuk dalam kumpulan berasid dan kajian penulis dengan kajian yang dijalankan oleh Tan (1996) dan Mohd Raihan *et al* (1997), didapati mempunyai nilai julat yang sama. Maka, nilai-nilai daripada ujikaji makmal adalah termasuk dalam julat pada kajian lepas dan menunjukkan tanah baki yang berasaskan granit adalah berasid. Berdasarkan kajian Za-Chieh dan Mirza (1969), nilai minimum yang didapati adalah rendah iaitu 3.85. Ini adalah disebabkan oleh faktor-faktor seperti nilai pH ini dipengaruhi oleh pembentukan mineral kaolinit dan juga ion-ion hidrogen, H^+ yang dominan pada sampel tanah kajian.

5.8 Peratus Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI)

Jadual 5.7 dan 5.8 menunjukkan nilai-nilai yang diperolehi bagi keseluruhan sampel manakala Rajah 5.31 hingga 5.34 menunjukkan graf hubungan peratus LOI dengan kedalaman. Daripada graf hubungan itu juga, jelas menunjukkan nilai LOI merosot dengan kedalaman, cuma sebahagian sampel yang bertambah dengan kedalaman iaitu Bukit Mertajam (PA1 dan PA2), Tanjung Bunga (PB1, PB2, PC1 dan PC2) di bahagian Utara, manakala sampel di Gumut (GA1 dan GA2) dan Taman Tasek Kesuma (BD1, BD2 dan BD3) dari bahagian Tengah. Peratus LOI ini sebenarnya dipengaruhi oleh kandungan lembapan dan kehadiran mineral kaolinit di dalam tanah. Oleh itu, peratus LOI akan merosot apabila kehadiran mineral kaolinit berkurang dengan kedalaman dan peratus LOI juga akan berkurang apabila kandungan lembapan tanah meningkat. Ini disebabkan oleh penyerapan ion-ion OH^- yang tinggi berlaku dalam tanah.

Julat peratus LOI dapat diperhatikan pada Rajah 5.31 hingga 5.34 yang mana masing-masing menunjukkan julat di bahagian Utara ialah 6.26 % hingga 16.07 %, di bahagian Tengah ialah 3.79 % hingga 18.67 %, di bahagian Selatan ialah 5.57 % hingga 18.81 % dan di bahagian Timur ialah 7.57 % hingga 15.58 %. Oleh itu, bagi keseluruhan sampel tanah baki, dapat dirumuskan bahawa julat peratus LOI bagi Semenanjung Malaysia adalah 3.79 % hingga 18.81 %.

5.9 Kepekatan Sulfat, SO_4^{2-} dan Klorida, Cl^-

Sepertimana yang dibincangkan dalam Bab III, ujikaji yang dijalankan dalam menentukan kepekatan sulfat dan kepekatan klorida adalah di dalam unit miligram per liter, mg/L. Unit kepekatan anion ini adalah setara dengan bahagian per sejuta yang diringkaskan sebagai ppm. Maka, 1 mg/L adalah bersamaan dengan 1 ppm. Kepekatan yang diperolehi adalah dengan menggunakan peralatan Spektrofotometer DR4000. Jadual 5.7 dan 5.8 menunjukkan keputusan bagi kepekatan sulfat dan klorida.

Pada Rajah 5.35 hingga 5.38, ia menunjukkan korelasi kepekatan sulfat dan klorida dengan kedalaman. Bagi kepekatan sulfat, persamaan penentuan atau korelasi penentuan dapat diterbitkan dan didapati pekali penentuan, R^2 adalah sangat baik bagi semua bahagian di Semenanjung Malaysia yang mana nilai $R^2 > 0.80$. Manakala bagi kepekatan klorida, didapati korelasi di bahagian Utara dan Timur masing-masing mempunyai R^2 bersamaan dengan 0.6838 dan 0.7017 yang mana menunjukkan korelasi yang baik dan bagi korelasi di bahagian Tengah pula, ia mempunyai R^2 bersamaan dengan 0.8288 iaitu korelasi yang sangat baik. Bagi bahagian Selatan, didapati nilai $R^2 < 0.25$ yang menunjukkan korelasi yang lemah. Merujuk kepada Aminaton (1996), beliau menyatakan:-

- (i) Jika pekali korelasi, R^2 adalah kurang daripada 0.25, maka korelasi penentuan adalah lemah
- (ii) Jika pekali korelasi, R^2 berjulat di antara 0.25 hingga 0.55, maka korelasi penentuan adalah sederhana baik

- (iii) Jika pekali korelasi, R^2 berjulat di antara 0.55 hingga 0.80, maka korelasi penentuan adalah baik
- (iv) Jika pekali korelasi, R^2 adalah lebih daripada 0.80, maka korelasi penentuan adalah sangat baik

Bagi bahagian Utara Semenanjung Malaysia, korelasi penentuan sulfat dan klorida masing-masing adalah:-

$$\text{SO}_4^{2-} = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.67} \right)^{1.05} \text{ ppm} \quad (5.35)$$

$$\text{Cl}^- = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.23} \right)^{1.06} \text{ ppm} \quad (5.36)$$

Manakala, bagi bahagian Tengah Semenanjung Malaysia, korelasi penentuan sulfat dan klorida masing-masing adalah:-

$$\text{SO}_4^{2-} = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{1.27} \right)^{1.05} \text{ ppm} \quad (5.37)$$

$$\text{Cl}^- = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.23} \right)^{1.01} \text{ ppm} \quad (5.38)$$

Bagi bahagian Selatan Semenanjung Malaysia, korelasi penentuan sulfat dan klorida masing-masing adalah:-

$$\text{SO}_4^{2-} = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.41} \right)^{1.09} \text{ ppm} \quad (5.39)$$

$$\text{Cl}^- = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{1.04} \right)^{0.35} \text{ ppm} \quad (5.40)$$

Manakala, bagi bahagian Timur Semenanjung Malaysia, korelasi penentuan sulfat dan klorida masing-masing adalah:-

$$\text{SO}_4^{2-} = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.67} \right)^{0.80} \text{ ppm} \quad (5.41)$$

$$\text{Cl}^- = \left(\frac{\text{Kedalaman}}{0.21} \right)^{0.97} \text{ ppm} \quad (5.42)$$

Julat kandungan sulfat dan klorida di semua bahagian Semenanjung Malaysia dapat diperhatikan juga pada Jadual 5.7 dan 5.8. Bagi kepekatan sulfat, di bahagian Utara dan Tengah julat masing-masing ialah 3.26 ppm hingga 17.58 ppm dan 2.21 ppm hingga 17.58 ppm, manakala di bahagian Selatan dan Timur, julat masing-masing ialah 2.78 ppm hingga 12.67 ppm dan 2.21 ppm hingga 16.70 ppm.

Bagi julat kandungan klorida pula, di bahagian Utara dan Tengah julat masing-masing ialah 6 ppm hingga 32 ppm dan 9 ppm hingga 50 ppm, manakala di bahagian Selatan dan Timur, julat masing-masing ialah 9 ppm hingga 25 ppm dan 7 ppm hingga 75 ppm.

Pada Rajah 5.35 hingga 5.38, ianya jelas menunjukkan nilai kepekatan sulfat dan klorida sebagai kepekatan anion bertambah dengan kedalaman dan kajian ini terbukti sebagaimana menggunakan aplikasi lapisan dwi-resap oleh Mitchell (1993).

Perbandingan antara ujikaji makmal yang dijalankan dengan kajian lepas dapat diperhatikan pada Jadual 5.9. Merujuk kepada kajian Tan (1996), didapati nilai kepekatan sulfat dan klorida yang didapati daripada kajiannya adalah kecil, walaupun ia menunjukkan julat yang besar. Oleh itu, keputusan yang didapati oleh penulis adalah lebih kecil berbanding nilai yang didapati daripada kajian lepas. Maka, kajian ini menunjukkan dalam pembinaan bagi pembinaan struktur khususnya struktur asas yang hendak ditanam di dalam tanah baki yang berasaskan granit adalah selamat daripada serangan sulfat dan klorida.

5.10 Peratus Kandungan Oksida

Seperti yang telah dibincangkan dalam Bab III, penentuan peratus oksida dalam sampel adalah menggunakan peralatan XRF. Ujikaji ini dijalankan yang bertujuan untuk menentukan kandungan oksida dalam bentuk peratusan serta menentukan nisbah mineral-mineral yang wujud dalam sampel. Jadual 5.10, 5.11, 5.12 dan 5.13 masing-masing menunjukkan peratus kandungan oksida di bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia. Manakala pada Jadual

5.15 sehingga 5.17 pula menunjukkan nilai nisbah silikon oksida/aluminium oksida ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), silikon oksida/ferum oksida ($\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan aluminium oksida/ferum oksida ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$). Graf hubungan peratus berat unsur yang utama iaitu silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan ferum oksida (Fe_2O_3) melawan kedalaman tanah diplot pada Rajah 5.39 sehingga 5.50 di seluruh bahagian Semenanjung Malaysia.

SiO_2 merupakan unsur berat bagi mineral kuarza didapati berkurangan dengan kedalaman tanah pada Rajah 5.39 hingga 5.42 yang ditunjukkan bagi semua sampel kecuali beberapa sampel di Bandar Baru Bangi (BB1, BB2 dan BB3), Sri Hartamas (KL1 dan KL2), Seremban (NA1, NA2 dan NA3), Mukim Rawang (BC1 dan BC2), Taman Tasek Kesuma (BD1, BD2 dan BD3) di bahagian Tengah, dan sampel di UTM Skudai (SA1, SA2, SB1 dan SB2), Senai (JB1 dan JB2) dan Sedenak (KF1 dan KF2) di bahagian Selatan yang mengalami pertambahan unsur SiO_2 dengan kedalaman. Unsur SiO_2 berkurang dengan kedalaman tanah adalah disebabkan oleh pembentukan mendakan seskuioksida yang tinggi secara ke bawah dengan kedalaman tanah yang diangkut secara sisi bersama-sama airbumi dari sekitaran pada bahagian atas. Proses penyahsilikonan ini yang mana bertanggungjawab kepada bahan-bahan oksida berlaku secara pertambahan kedalaman (Van Boron *et al.* 1973). Selain unsur SiO_2 sebagai unsur major dalam tanah, unsur-unsur kedua major selepas silikon ialah Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Pada Rajah 5.43 hingga 5.50 jelas menunjukkan lebih 50 % daripada keseluruhan sampel, peratus Al_2O_3 dan Fe_2O_3 adalah merosot dengan pertambahan kedalaman.

Nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada Jadual 5.15 sehingga 5.17 adalah penting dalam membuktikan kehadiran mineral kuarza. Blight (1997) mengesyorkan bahawa mineral kuarza akan terbentuk dengan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi. Daripada jadual-jadual tersebut, sampel Kampung Sedenak (AF1) menunjukkan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang sangat tinggi menunjukkan bahawa mineral kuarza sebagai mineral major dalam sampel. Manakala, sampel-sampel yang lain seperti di Pulau Pinang iaitu PA1, PA2 dan PB1, di Perak iaitu AA2, AB2, AC1 dan AC2, di Selangor iaitu BB1, BB2, BB3 dan GA1, di Johor pula bagi sampel KF1, KF2, SA2 dan AF2, manakala sampel CA1, CA2 dan kesemua sampel di Kelantan menunjukkan nisbah

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi yang menunjukkan kehadiran mineral kuarza sebagai mineral major.

Manakala sampel-sampel yang selebihnya pula menunjukkan mineral lempung khususnya mineral kaolinit sebagai mineral major dengan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 2.0$. Mengikut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), jika nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 2.0$ dan jika kurang daripada nilai tersebut maka kehadiran oleh unsur Al_2O_3 yang bebas dalam sampel, dan montmorilonit dan ilit sebagai mineral minor yang hadir dalam sampel. Pembentukan mineral lempung kaolinit akan menyebabkan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berkurangan dengan pertambahan kedalaman seperti beberapa sampel di Bukit Mertajam (PA1 dan PA2), Tanjung Bunga (PB1 dan PB2), Sungai Siput (AA2, AA3, AB2 dan AB3), Padang Rengas (AD1, AD2 dan AD3), Taman Tasek Kesuma (BD1 dan BD2), Gumut (GA1 dan GA2), UTM Skudai (SA1 dan SA2), Kampung Sedenak (AF1 dan AF2), Cameron Highlands (CA1 dan CA2) dan Wakaf Tapai (TA2 dan TA3). Maka, pada bahagian atas kedalaman tanah proses penguraian berlaku yang melibatkan pembentukan gibsit dan silika, dan gibsit akan hadir dan melarut yang disebabkan oleh keadaan tanah berasid. Kehadiran gibsit adalah pada pembentukan akhir liang-liang tanah sahaja. Selain daripada itu, nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang menurun dengan pertambahan kedalaman dan kandungan alumina dalam tanah adalah disebabkan oleh pembentukan mineral lempung yang stabil khususnya kaolinit disebabkan oleh proses penguraian selain daripada pembentukan mineral gibsit ialah penguraian mineral lempung dan larutresap oleh pembentukan Al_2O_3 ataupun mineral lempung dan juga mineral kuarza dikatakan akan mengalami larutresap ketika proses luluhawa dan pembentukan mineral lempung kaolinit yang sangat aktif.

Sampel-sampel seperti Bukit Mertajam (PA1 dan PA2), Tanjung Bunga (PB1 dan PB2), Sungai Siput (AA2, AA3, AB2 dan AB3), Padang Rengas (AD1, AD2 dan AD3), Taman Tasek Kesuma (BD1 dan BD2), Gumut (GA1 dan GA2), UTM Skudai (SA1 dan SA2), Kampung Sedenak (AF1 dan AF2), Cameron Highlands (CA1 dan CA2) dan Wakaf Tapai (TA2 dan TA3) yang mempunyai nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang berkurangan dengan kedalaman, nisbah $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ juga mengalami penurunan dengan kedalaman tanah yang disebabkan oleh kemusnahan mineral lempung serta proses keberzaan iaitu pergerakan unsur-unsur ke bawah oleh mineral lempung dan

juga proses hakisan iaitu proses perpindahan sisi oleh mineral lempung yang melibatkan butiran kasar mineral kuarza. Kemusnahan mineral yang berlaku dalam tanah disebabkan oleh perpindahan mahupun migrasi pada bahagian atas dan penumpukan unsur-unsur di bahagian bawahnya.

Daripada Jadual 5.14 hingga 5.17, sampel-sampel yang mengalami penurunan nilai Fe_2O_3 tetapi peratus SiO_2 dan Al_2O_3 bertambah dengan pertambahan kedalaman adalah disebabkan oleh pelarutan silikon dan aluminium dalam tanah akibat penumpukan baki oleh ferum seperti di Padang Rengas (AD1 dan AD2), Mukim Rawang (BC1 dan BC2), UTM Skudai (SB1 dan SB2) dan Senai (JB1 dan JB2).

Proses penyahsilikonan adalah proses pengalihan separa oleh silikon dan pengalihan secara keseluruhannya yang terkandung dalam bahan-bahan bumi yang berkali-kali menunjukkan kemusnahan pada mineral primer. Proses penyahsilikonan berlaku disebabkan oleh penumpukan baki unsur ferum secara ekstrim seperti yang berlaku pada sampel di Bukit Mertajam (PA1 dan PA2), Tanjung Bunga (PC1 dan PC2), Sungai Siput (AA2, AA3, AB2 dan AB3), Bandar Baru Bangi (BB1 dan BB2), Gumut (GA1 dan GA2) dan Kampung Umbai (AF1 dan AF2).

Apabila kedalaman semakin bertambah, peratus SiO_2 , Al_2O_3 dan K_2O berkurangan disebabkan oleh penguraian oleh mineral kuarza, kaolinit dan ilit ketika luluhawa dalam pembentukan tanah seperti pada sampel Bandar Baru Bangi (BB1 dan BB2). Bagi sampel-sampel di Bukit Mertajam (PB1 dan PB2), Padang Rengas (AD1, AD2 dan AD3), Taman Tasek Kesuma (BD1 dan BD2), Wakaf Tapai (TB1 dan TB2) dan Pulau Chondong (DA2, DA3, DB2 dan DB3) yang mana ia mengalami nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan berat Fe_2O_3 yang merosot dengan kedalaman ini disebabkan oleh unsur silikon dibebaskan dan dimusnahkan ketika proses luluhawa dan melarutresap dalam tanah, serta berlakunya pembentukan aluminium dengan mineral lempung untuk membentuk produk akhir iaitu mineral kaolinit. Oleh itu, penumpukan baki ferum berlaku pada bahagian bawah disebabkan oleh peningkatan airbumi pada bahagian atas ketika kejadian hujan yang berlaku yang menyebabkan baki oksida dan baki pementapan berlaku kerana kejadian turun-naik airbumi dalam

tanah. Selain daripada itu juga, sampel-sampel yang mengalami pertambahan peratus berat Fe_2O_3 dengan kedalaman ialah dikatakan berlakunya pembentukan mineral geotit, hematit, magnetit dan hematit. Manakala pada bahagian bawah, taburan semula oleh unsur ferum ini yang meliputi pada jarak dekat menyebabkan berselanglah oleh oksida ubahan dan keadaan penurunan.

Proses penghidratan juga berlaku dalam tanah. Proses ini dikatakan proses yang membentuk penghidratan mineral dalam tanah seperti sampel di Sedenak (KF1 dan KF2), UTM Skudai (SB1 dan SB2), dan Pulau Chondong (DA2 dan DA3). Selain daripada itu, sampel-sampel di Taman Tasek Kesuma dan Seremban yang mana nilai Al_2O_3 mengalami peratus nilai naik kemudiannya turun yang disebabkan oleh proses larutresap seskuioksida pada bahagian atas dan proses podzolisasi pada bahagian bawahnya. Fenomena seperti ini biasanya berlaku dalam pembentukan tanah baki.

Bagi julat peratus SiO_2 di semua bahagian Semenanjung Malaysia, daripada Rajah 5.39 hingga 5.42 ianya dapat diringkaskan sebagai:-

- (i) di bahagian Utara, peratus julat ialah 46.47 % hingga 78.51 %
- (ii) di bahagian Tengah, peratus julat ialah 34.07 % hingga 78.11 %
- (iii) di bahagian Selatan, peratus julat ialah 28.54 % hingga 77.99 %
- (iv) di bahagian Timur, peratus julat ialah 37.25 % hingga 65.88 %

Bagi julat peratus Al_2O_3 di semua bahagian Semenanjung Malaysia, daripada Rajah 5.43 hingga 5.46 ianya dapat diringkaskan sebagai:-

- (v) di bahagian Utara, peratus julat ialah 12.96 % hingga 33.95 %
- (vi) di bahagian Tengah, peratus julat ialah 13.08 % hingga 40.78 %
- (vii) di bahagian Selatan, peratus julat ialah 2.53 % hingga 39.32 %
- (viii) di bahagian Timur, peratus julat ialah 19.57 % hingga 32.57 %

Bagi julat peratus Fe_2O_3 di semua bahagian Semenanjung Malaysia, daripada Rajah 5.47 hingga 5.50 ianya dapat diringkaskan sebagai:-

- (ix) di bahagian Utara, peratus julat ialah 1.30 % hingga 11.57 %
- (x) di bahagian Tengah, peratus julat ialah 0.89 % hingga 13.05 %
- (xi) di bahagian Selatan, peratus julat ialah 1.27 % hingga 12.27 %
- (xii) di bahagian Timur, peratus julat ialah 2.43 % hingga 14.71 %

Pada Jadual 5.14 pula, ia menunjukkan julat peratus titanium oksida (TiO_2), mangan oksida (MnO), magnesium oksida (MgO), kalsium oksida (CaO), natrium oksida (Na_2O) dan kalium oksida (K_2O) bagi semua bahagian Semenanjung Malaysia yang diringkaskan daripada Jadual 5.10 sehingga 5.13. Peratusan relatif terbanyak hingga tersedikit dapat dinyatakan sebagai $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{MnO}, \text{MgO}, \text{CaO}, \text{P}_2\text{O}_3$ dan Na_2O dalam semua sampel yang dikaji.

Jadual 5.18 menunjukkan perbandingan ujikaji makmal dengan kajian lepas. Ia menunjukkan turutan relatif daripada yang tertinggi kepada terendah iaitu unsur silikon oksida merupakan unsur yang paling major, diikuti dengan unsur $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{CaO}$. Daripada pengkaji-pengkaji lepas seperti Radwan (1988), Sueoka *et al* (1996), Mohr (1973), West dan Dumbleton (1970) dan Hamzah dan Abdul Ghani (1993), kajian-kajian mereka mencatatkan peratus unsur SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 masing-masing mencatatkan 50.5 % hingga 72 %, 12 % hingga 25.5 % dan 0.64 % hingga 14.9 %. Bagi nilai yang didapati oleh penulis pula, peratus unsur SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 masing-masing mencatatkan 28.54 % hingga 78.51 %, 2.53 % hingga 40.78 % dan 0.89 % hingga 14.71 %. Perbandingan antara nilai-nilai yang didapati oleh penulis dan kajian yang lepas, didapati adalah sama. Walaupun, nilai minimum bagi peratus unsur SiO_2 yang didapati oleh penulis adalah rendah berbanding dengan kajian lepas. Ini adalah disebabkan oleh, sesetengah bahagian di Semenanjung Malaysia, mempunyai taburan mineral kuarza yang rendah yang menyebabkan peratusan silikon yang rendah. Segala keputusan-keputusan bagi penulis dan juga kajian lepas, ia disokong dengan pengujian mineralogi dengan menggunakan peralatan XRD.

5.11 Kepekatan Kation

Kepekatan kation seperti kalium (K^+), natrium (Na^+), magnesium (Mg^{2+}) dan kalsium (Ca^{2+}) adalah penting kepada pembentukan mineral-mineral lempung seperti kaolinit, montmorilonit dan ilit, dan juga menentukan nilai kebolehpaya pertukaran kation (KPK).

Jadual 5.19, 5.20 dan 5.21 menunjukkan keputusan yang diperolehi bagi kepekatan kation-kation pada bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia. Selain daripada nilai pH kurang daripada 7.0 dan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 2.0$, kepekatan ion-ion K^+ , Ca^{2+} dan Na^+ yang rendah akan membantu pembentukan mineral kaolinit secara ekstrim. Daripada jadual-jadual yang dinyatakan, didapati bahawa sampel di Bukit Mertajam (PA2), Sungai Siput (AB3), Sri Hartamas (KL1 dan KL2), Sedenak (KF2), UTM Skudai (SA1, SA2, SB1 dan SB2), Kampung Umbai (AF2) dan Wakaf Tapai (TA2 dan TB2) menunjukkan kepekatan K^+ adalah paling tinggi berbanding dengan kepekatan Na^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Mengikut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), kepekatan K^+ yang tinggi disebabkan oleh kehadiran mineral ilit sebagai mineral minor dalam tanah baki.

Selain daripada pembentukan kaolinit yang ekstrim sebagai mineral major, montmorilonit dan ilit juga dibentuk secara aktif sebagai mineral minor dalam sampel tanah. Oleh itu, bagi pembentukan mineral lempung montmorilonit adalah terbentuk apabila kepekatan ion Mg^{2+} melebihi kepekatan ion Ca^{2+} dan Na^+ serta nilai pH yang tinggi. Daripada Jadual 5.19 sehingga 5.21, sampel seperti Sungai Siput (AA3), Bukit Berapit (AC1 dan AC2), Sedenak (KF1 dan KF2), Cameron Highlands (CA1 dan CA2), dan Pulai Chondong (DA2 dan DA3) menunjukkan kepekatan Mg^{2+} adalah paling tinggi berbanding dengan kepekatan K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} .

Nilai KPK juga memerlukan nilai-nilai kepekatan kation seperti K^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} sahaja. Jadual 5.22, 5.23 dan 5.24 menunjukkan data-data yang telah dianalisis untuk mendapatkan nilai KPK tersebut. Manakala, Rajah 5.51 hingga 5.54 menunjukkan korelasi dengan kedalaman tanah dan jelas menunjukkan bahawa nilai KPK akan bertambah dengan kedalaman bagi semua bahagian Semenanjung Malaysia. Daripada graf tersebut menunjukkan nilai KPK akan meningkat dengan kedalaman yang lebih dalam. Ini menunjukkan bahawa pertukaran kation berlaku secara aktif pada kedalaman yang bawah.

Bagi Rajah 5.51 hingga 5.54, julat nilai KPK dapat diketahui. Julat-julat tersebut adalah:-

- (i) Di bahagian Utara, mempunyai julat 1.91 meq/100 g hingga 9.36 meq/100 g

- (ii) Di bahagian Tengah, mempunyai julat 1.56 meq/100 g hingga 6.01 meq/100 g
- (iii) Di bahagian Selatan, mempunyai julat 0.64 meq/100 g hingga 8.65 meq/100 g
- (iv) Di bahagian Timur, mempunyai julat 0.34 meq/100 g hingga 12.88 meq/100 g

Jadual 5.25 menunjukkan julat kepekatan kation bagi seluruh bahagian Semenanjung Malaysia. Daripada jadual tersebut jelas menunjukkan ion Mg^{2+} sebagai kation yang major diikuti dengan dengan ion K^+ , ion Na^+ dan akhirnya ion Ca^{2+} . Kation-kation di bahagian Utara menunjukkan nilai kepekatan yang tinggi dan bahagian Selatan juga mempunyai kepekatan yang tinggi selepas bahagian Utara berbanding dengan bahagian-bahagian yang lain di Semenanjung Malaysia. Ini adalah disebabkan faktor iklim seperti suhu dan taburan hujan yang tinggi dicatatkan di bahagian Utara Semenanjung Malaysia. Mengikut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), nilai KPK yang rendah ini menunjukkan kehadiran mineral lempung kaolinit selain daripada kuarza dalam tanah. Nilai KPK yang setara telah dibincangkan oleh penulis dalam Bab II seperti dalam Jadual 2.15 di mana kaolinit mempunyai julat KPK iaitu 3 meq/100 g sehingga 15 meq/100 g.

Jadual 5.26 menunjukkan perbandingan nilai ujikaji yang diperolehi oleh penulis dengan kajian lepas. Daripada kajian lepas oleh Tan (1996), turutan relatif bagi kepekatan kation adalah $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ manakala turutan relatif yang didapati oleh penulis bagi bahagian utara dan tengah Semenanjung Malaysia masing-masing adalah $Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+ > Na^+$ dan $K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Manakala, turutan relatif bagi bahagian selatan dan timur Semenanjung Malaysia pula, masing-masing adalah $Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Ca^{2+}$ dan $K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$. Turutan-turutan relatif tersebut jelas menunjukkan perbezaan. Menurut Mitchell (1993) kepekatan kation yang tinggi disebabkan oleh kuantiti mineral-mineral yang hadir dalam tanah dan juga proses penyebaran ion-ion yang tinggi berlaku dalam tanah. Mengikut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973), kepekatan kation Mg^{2+} dan K^+ dalam tanah adalah disebabkan oleh dominasi mineral lempung bagi mineral montmorilonit dan ilit dalam tanah yang hadir sebagai mineral minor. Maka, keputusan-keputusan yang dijalankan oleh penulis, jika menurut Shamsudin (1983) dan Mohr (1973),

kepekatan-kepekatan kation yang tinggi dipengaruhi oleh mineral-mineral lempung khususnya mineral montmorilonit dan ilit.

5.12 Mineralogi Tanah

Selain daripada penentuan taburan mineral menggunakan peralatan seperti XRF dan AAS, XRD digunakan sebagai menentukan jenis-jenis unsur mineral yang terkandung dalam sampel tanah. Apa yang berbeza dengan penggunaan XRF adalah ia hanya menentukan kepekatan unsur dalam peratus oksida.

Keputusan-keputusan daripada peratus kandungan oksida disokong dengan menggunakan keputusan taburan relatif mineral yang menggunakan peralatan XRD ini. Jadual 5.27, 5.28, 5.29 dan 5.30 menunjukkan taburan relatif mineral daripada relatif terbanyak ke tersedikit bagi semua bahagian di Semenanjung Malaysia. Pada sampel di bahagian Utara, jelas menunjukkan mineral kuarza dan mineral lempung kaolinit mendominasi bagi keseluruhan sampel disebabkan oleh nilai pH yang kurang daripada 7.0 dan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang rendah bagi pembentukan kaolinit dan nisbah yang tinggi bagi pembentukan kuarza. Peratus berat SiO_2 yang tinggi menunjukkan kehadiran mineral kuarza sepertimana yang telah dibincangkan pada Bahagian 5.10 pada keputusan berat oksida dan kepekatan kation. Maka, mineral lempung montmorilonit sebagai mineral major bagi sampel AC2. Faktor-faktor pembentukan mineral jenis ini adalah disebabkan oleh kepekatan ion Mg^{2+} tinggi iaitu 300.93 ppm dan juga nilai pH yang tinggi iaitu 6.75. Manakala, mineral-mineral minor yang lain adalah ilit, muskovit, geotit dan ortoklas/mikrolin.

Begitu juga pada sampel-sampel pada bahagian Tengah, Selatan dan Timur yang menunjukkan mineral kuarza dan kaolinit sebagai mineral major dalam sampel tanah seperti dalam Jadual 5.27, 5.28 dan 5.29. Manakala montmorilonit, ilit, muskovit, geotit, ortoklas/mikrolin dan gipsit sebagai mineral minor dalam sampel tanah. Sampel KF2 menunjukkan hanya mineral kuarza dan kaolinit sahaja yang hadir. Daripada keputusan berat peratusan oksida, nilai SiO_2 yang tinggi iaitu 62.38 % serta nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ialah 3.11 menunjukkan pembentukan silika yang

dominan pada sampel tersebut. Juga pada sampel AF2 yang mana Jadual 5.29 menunjukkan mineral kuarza sahaja hadir sebagai mineral dalam sampel tanah. Nilai SiO_2 dan nisbah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ masing-masing adalah 87.39 % dan 34.54 % yang membuktikan bahawa hanya mineral kuarza sahaja yang hadir dalam sampel tanah ini.

Daripada Jadual 5.28 sehingga 5.31, penulis telah meringkaskan pada Jadual 5.32 iaitu julat kandungan mineral major dan minor bagi keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia. Pada bahagian Utara, mineral kuarza, kaolinit dan muskovit sebagai mineral dominan manakala mineral montmorilonit, mikrolin/ortoklas dan ilit sebagai minor mineral yang lazim. Manakala, sampel-sampel di bahagian Tengah, Selatan dan Timur menunjukkan bahawa mineral-mineral seperti kuarza dan kaolinit sebagai mineral major dan muskovit, montmorilonit, geotit, gipsit, dan ilit sebagai mineral minor yang lazim.

Jadual 5.33 menunjukkan perbandingan nilai ujikaji yang diperolehi oleh pengkaji dengan kajian lepas dan jelas menunjukkan bahawa mineral kuarza dan mineral kaolinit telah hadir sebagai mineral major dalam tanah baki granit. Kesamaan juga telah didapati bagi keputusan-keputusan ujikaji (Jadual 5.32) yang menunjukkan selain kaolinit sebagai mineral kaolinit, mineral ilit dan montmorilonit hadir sebagai mineral minor selepas mineral kuarza dan kaolinit dalam tanah baki granit. Kedua-dua jenis mineral lempung ini, iaitu mineral ilit dan montmorilonit telah hadir sebagai mineral minor dalam tanah baki granit adalah disebabkan kepekatan kation yang didapati oleh pengkaji adalah tinggi (Jadual 5.26). Selain itu, keputusan antara pengkaji dengan kajian lepas mencatatkan mineral goetit dan gipsit juga telah hadir sebagai mineral minor. Seperti yang dinyatakan oleh Loughnan (1969) dan Balasubramaniam *et al* (1985), mineral-mineral Fe_2O_3 (gipsit dan goetit) ini hadir dalam tanah baki selepas ubahan mineral primer oleh olivin, feldspar dan magnetit. Mineral-mineral gipsit dan goetit, hadir sebagai mineral minor jika kepekatan unsur Fe_2O_3 yang tinggi dalam tanah. Oleh itu, bagi tanah baki yang berasaskan granit, mineral kuarza dan kaolinit diiktiraf sebagai mineral major manakala mineral ilit, montmorilonit, goetit dan gipsit sebagai mineral minor.

5.13 Mikrostruktur dan Mikrofabrik Tanah

Bagi bahagian ini, keputusan-keputusan terhadap mineral, struktur dan fabrik tanah dinyatakan dalam bentuk mikrofotograf berdasarkan penggunaan peralatan SEM. Daripada analisis-analisis data seperti penggunaan peralatan XRD, SEM digunakan sebagai sokongan kepada keputusan XRD serta penggunaan tenaga penyerakan sinar-X (EDX) digunakan untuk mengesan mineral yang hadir yang mana EDX ini disambungkan terus kepada peralatan SEM dalam makmal.

Rajah 5.55 sehingga 5.60 menunjukkan imej SEM bagi sampel di bahagian Utara Semenanjung Malaysia. Daripada keputusan XRD, sampel PA1 dan PA2 masing-masing menunjukkan mineral kuarza merupakan mineral major. Oleh itu, keputusan SEM pada Rajah 5.55 (sampel PA1) menunjukkan kehadiran mineral kuarza yang berbentuk trigonal dan Rajah 5.56 (sampel PA2) menunjukkan kehadiran mineral kaolinit yang berbentuk emping. Pada Rajah 5.57 dan Rajah 5.58 masing-masing bagi sampel AC1 dengan kedalaman 7.5 m hingga 7.95 m dan PC1 dengan kedalaman 4.5 m hingga 4.95 m yang menunjukkan struktur dalam keadaan padat. Manakala pada Rajah 5.59 dan Rajah 5.60 masing-masing bagi sampel AC2 dengan kedalaman 10.5 m hingga 10.75 m dan PC2 dengan kedalaman 6.0 m hingga 6.45 m yang menunjukkan strukturnya dalam keadaan longgar.

Rajah 5.61 sehingga 5.68 menunjukkan imej SEM bagi sampel di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia yang melibatkan pensampelan di bahagian Seremban di Negeri Sembilan (NA1, NA2 dan NA3), Sri Hartamas di Kuala Lumpur (KL1)s, Gumut dan Taman Tasek Kesuma di Selangor. Daripada keputusan XRD pada Jadual 5.28 menunjukkan sampel NA1 dan NA2 didominasi oleh mineral lempung kaolinit dan sampel KL1 pula mengandungi mineral major kuarza. Pada Rajah 5.65 dan 5.66 menunjukkan sampel bagi GA1 dan GA2 masing-masing dengan kedalaman 1.5 m hingga 1.95 m dan 3.0 m hingga 3.45 m yang mana masing-masing mempunyai struktur ikatan padat dan ikatan longgar. Manakala pada Rajah 5.67 dan 5.68 yang mana masing-masing mempunyai struktur ikatan padat dan longgar bagi sampel BD1 dan BD2 dengan kedalaman masing-masing 2.0 m hingga 2.45 m dan 6.0 m hingga 6.45 m.

Di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia pula, ia juga menunjukkan mineral kuarza sebagai mineral major dalam sampel seperti dalam Rajah 5.69 dan 5.70 bagi kawasan Kampung Umbai di Melaka. Mineral kuarza yang berbentuk trigonal tersebut disokong oleh keputusan XRD pada Jadual 5.29. Manakala pada Rajah 5.71 hingga 5.74 menunjukkan keadaan struktur yang padat dan longgar bagi kawasan Sedenak (KF1 dan KF2) dan Pulai (JA2 dan JA3). Bagi kawasan Timur, sampel di Pulai Chondong iaitu DB2 dan DA3 dengan kedalaman masing-masing 3.0 m hingga 3.6 m dan 4.0 m hingga 4.6 m yang mana imej SEM menunjukkan kehadiran mineral lempung kaolinit yang mana kehadiran jenis mineral ini disokong oleh keputusan XRD pada Jadual 5.30, tetapi mineral kuarza tidak dapat dikesan dengan SEM. Manakala bagi sampel DA2, DA3, TA1 dan TA2 pada Rajah 5.75 hingga 5.80 menunjukkan ikatan struktur padat dan longgar.

Pada Bab II iaitu bahagian 2.13 yang melibatkan konsep lapisan dwi-resap sebagaimana yang dikaji oleh Mitchell (1993), proses flokulasi dan deflokulasi adalah satu proses yang menerangkan keadaan struktur ikatan pada kedalaman cetek mempunyai ikatan padat manakala pada kedalaman ke bawah mempunyai ikatan longgar. Pada kedalaman cetek, proses luluhawa yang lengkap, kadar kebolehtelapan yang tinggi serta kebolehpaya pertukaran kation (KPK) yang rendah akan menyebabkan daya antara zarah berlaku dengan cepat iaitu yang melibatkan daya Van der Waals. Zarah-zarah yang mengalami penarikan (proses flokulasi) antara satu sama lain akan menjadikan zarah-zarah tersebut mempunyai liang mikro dengan nisbah yang kecil berbanding pada kedalaman ke bawah yang mempunyai nisbah liang mikro yang tinggi. Ini adalah disebabkan oleh pada kedalaman ke bawah tersebut proses deflokulasi berlaku yang mana daya antara zarah-zarah akan menolak di antara satu sama lain yang menyebabkan kadar kebolehtelapan yang rendah oleh keadaan bilangan liang mikro yang tinggi dan luas liang yang besar. Proses flokulasi juga melibatkan tindakbalas kation dan anion yang masing-masing merosot dan meningkat berbanding kedalaman tanah sehingga mencapai takat keseimbangan pada satu titik. Fenomena yang berlaku ini dikatakan sebagai lapisan dwi-resap. Tindakbalas antara kation dan anion sebelum mencapai takat keseimbangan akan menyebabkan daya tarikan antara zarah berlaku dengan aktif. Maka, apabila proses flokulasi berlaku maka keadaan struktur ikatan tanah adalah padat.

Pada Jadual 5.33 pula menunjukkan keputusan mikrostruktur dan mikrofabrik bagi sebahagian sampel yang telah dikaji. Bagi keseluruhan sampel berdasarkan profil dan kedalaman tanah, ianya dapat diperhatikan pada Rajah 5.81 hingga 5.84.

Pada jadual tersebut, semua sampel adalah berstruktur matriks lempung kecuali beberapa sampel yang berstruktur matriks berbutir iaitu PA1, KL1, GA2, AF1, JA2 dan JA3. Manakala bagi fabrik tanah pula, beberapa bentuk fabrik telah dikenalpasti iaitu berbutir dengan hubungan terselaput dan individu, empingan secara rawak atau domain dan selari atau lamina, dan bertiub secara rawak atau domain. Penjelasan berkaitan bentuk fabrik ini telah dijelaskan pada Bab II iaitu yang melibatkan Rajah 2.30 dan 2.31. Bentuk fabrik secara empingan dengan susunannya samada rawak/domain mahupun lamina atau selari adalah dipengaruhi oleh mineral lempung kaolinit. Bagi sampel PA1, AC1, NA1, KL1, GA1, GA2, BD2 dan TA1 yang mana sampel ini mempunyai fabrik secara berbutir dengan hubungan terselaput manakala sampel sampel AC2, BD1, JA2 dan JA3 juga fabrik berbutir tetapi dengan hubungan individu. Manakala sampel-sampel selebihnya pada Jadual 5.33 menunjukkan bentuk fabrik emping yang mempunyai susunan rawak atau domain manakala sampel seperti NA2 dan NA3 juga berfabrik empingan tetapi disusun secara lamina atau selari.

Tidak banyak kajian berkaitan mikrostruktur dan mikrofabrik yang melibatkan pensampelan tanah baki yang berasaskan granit. Jadual 5.34 menunjukkan keputusan yang diperolehi bagi penulis dengan kajian lepas. Berdasarkan keputusan pengkaji dengan Aung *et al* (2000), didapati struktur pada kedalaman cetek adalah dalam keadaan padat manakala pada kedalaman ke bawah, struktur adalah longgar. Kajian daripada Aung *et al* (2000) mendapati bahawa struktur tanah padat dan longgar adalah disebabkan oleh gred luluhawa dan juga kehadiran mineral kaolinit dengan kuantiti yang tinggi. Oleh itu, saiz-saiz zarah mineral kaolinit akan menyebabkan jumlah liang-liang makro pada kedalaman cetek adalah sedikit berbanding dengan kedalaman ke bawah.

5.14 Ringkasan Korelasi

Seperti yang telah dilihat sebelumnya, banyak korelasi yang telah dihasilkan dari ujian yang dijalankan. Bagi mempercepatkan proses rekabentuk, para jurutera boleh menggunakan korelasi antara ciri-ciri kejuruteraan yang telah diwujudkan oleh pengkaji lepas. Ketepatan korelasi yang diwujudkan boleh dibahagikan kepada empat bahagian berdasarkan nilai pekali penentuan (R^2) seperti yang diberikan oleh Marto (1996) dalam Jadual 5.35.

Sehingga kini, tidak banyak korelasi yang diterbitkan bagi tanah baki. Beberapa korelasi yang telah diwujudkan adalah korelasi kandungan lempung dengan ciri-ciri keplastikan, korelasi kekuatan ricih dengan ciri-ciri indeks, korelasi kandungan lembapan dengan pekali kebolehtelapan dan sebagainya.

Korelasi yang diwujudkan dibahagikan kepada dua kategori. Kategori pertama adalah korelasi yang dapat diwujudkan dengan persamaan tertentu apabila pekali penentuan, R^2 untuk persamaan tersebut lebih besar dari 0.55 iaitu sekurang-kurangnya dari jenis korelasi yang baik seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.35.

Untuk kategori kedua pula, korelasi yang diwujudkan tidak dapat dibuat dengan persamaan kerana pekali penentuan, R^2 yang terhasil apabila persamaan cuba diwujudkan adalah lebih kecil dari 0.55. Oleh itu korelasi-korelasi ini diberikan dalam persamaan had atas dan had bawah sahaja. Korelasi yang terhasil ditunjukkan seperti dalam Jadual 5.36.

Bagi kajian mineralogi, mikrostruktur dan kimia, korelasi-korelasi yang telah dibina hanyalah melibatkan sampel-sampel daripada bahagian Timur sahaja iaitu yang melibatkan sampel tanah dari Wakaf Tapai, Terengganu (TA1, TA2, TB1 dan TB2) dan juga dari Pulau Chondong, Kelantan (DA1, DA2, DA3, DB1, DB2 dan DB3). Data-data yang telah digunakan untuk tujuan korelasi adalah berkaitan dengan ciri-ciri fizikal tanah baki seperti indeks keplastikan, I_p , had plastik, w_p , had cecair, w_L dan kandungan lembapan, w (Jadual 5.37). Korelasi-korelasi yang telah dibina adalah:-

- (a) Korelasi Mineralogi dengan Indeks Keplastikan, I_p pada Rajah 5.85 hingga 5.87.
- (b) Korelasi Mineralogi dengan Had Plastik, w_p pada Rajah 5.88.
- (c) Korelasi Mineralogi dengan Had Cecair, w_L pada Rajah 5.89.
- (d) Korelasi Mineralogi dengan Kandungan Lembapan, w pada Rajah 5.90.
- (e) Korelasi Mineralogi dengan Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI) pada Rajah 5.91.
- (f) Korelasi Mineralogi dengan Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK) pada Rajah 5.92.
- (g) Korelasi Mineralogi dengan Nilai pH pada Rajah 5.93.
- (h) Korelasi Nilai pH dengan Kepekatan Kation pada Rajah 5.94.
- (i) Korelasi Kebolehpaya Pertukaran Kation, KPK dengan Nilai pH pada Rajah 5.95.

Jadual 5.38a dan 5.38b menunjukkan persamaan korelasi yang telah dibina serta nilai pekali penentuan, R^2 . Mengikut Marto (1996), julat pekali penentuan yang mana masing-masing bernilai kurang daripada 0.25 mempunyai korelasi yang lemah, julat 0.25 hingga 0.55 mempunyai korelasi yang sederhana baik, julat 0.56 hingga 0.80 mempunyai korelasi yang baik dan julat lebih daripada 0.80 mempunyai korelasi yang sangat baik.

Had Atterberg dikenali sebagai had-had kandungan air yang melibatkan indeks keplastikan, I_p , had plastik, w_p dan had cecair, w_L . Indeks keplastikan, I_p merupakan julat kandungan air bagi tanah bersifat plastik manakala had plastik, w_p dikenali sebagai kandungan air yang minimum bagi tanah yang dapat diuli kepada garis pusat 3 mm tanpa mengalami peleraian. Dan had cecair, w_L pula kandungan air yang minimum bagi tanah yang dapat mengalir dengan beratnya yang sendiri. Rajah 5.85 hingga 5.89 menunjukkan graf korelasi antara mineralogi tanah baki dengan had Atterberg di bahagian Timur Semenanjung Malaysia. Daripada graf-graf tersebut, jelas menunjukkan SiO_2 mempunyai kecerunan negatif dengan had Atterberg yang mana menunjukkan semakin tinggi peratus had Atterberg, semakin rendah peratus SiO_2 dalam tanah. Manakala, Al_2O_3 dan Fe_2O_3 menunjukkan hubungan positif yang mana semakin tinggi peratus oksida maka peratus PI akan meningkat. Oleh itu, SiO_2

iaitu mineral kuarza mempengaruhi dan merendahkan sifat keplastikan tanah dalam sampel-sampel ujikaji dan juga menunjukkan kandungan mineral kuarza yang tinggi menyebabkan tanah mempunyai kurang kejeleketan (Mitchell, 1993).

Daripada graf hubungan Al_2O_3 pula, selaku agen pembentukan mineral kaolinit dalam tanah lempung menyebabkan had Atterberg dalam tanah dikawal oleh mineral jenis kaolinit ini. Daripada Jadual 5.30 jelas menunjukkan selain mineral kuarza sebagai mineral major, kaolinit juga termasuk dalam kumpulan yang sama. Kehadiran Fe_2O_3 dalam sampel tanah baki yang hadir dalam butiran halus tanah jelas menunjukkan semakin tinggi peratus had Atterberg maka peratus Fe_2O_3 juga meningkat. Ini disokong dengan kehadiran mineral yang ditunjukkan dalam Jadual 5.30 yang mana menunjukkan kehadiran mineral goetit dalam sampel tanah baki di bahagian Timur Semenanjung Malaysia. Ini adalah disebabkan kepekatan Fe_2O_3 sebagai agen pembentukan mineral goetit. Daripada Jadual 5.35, ia menunjukkan julat kandungan tanah lempung adalah 16% hingga 44%. Semakin tinggi peratus kandungan tanah lempung dalam sampel tanah, menjelaskan bahawa butiran halus tanah akan menggalakkan lagi pembentukan mineral goetit.

Rajah 5.90 menunjukkan graf korelasi mineralogi yang melibatkan aluminium dan ferum oksida dengan kandungan lembapan semulajadi, MC. Al_2O_3 sebagai agen pembentukan kaolinit akan menyebabkan semakin tinggi kaolinit hadir dalam sampel tanah, maka kandungan lembapan semulajadi akan berkurangan dan begitu juga dengan Fe_2O_3 sebagai agen pembentukan mineral goetit yang mana kandungan Fe_2O_3 yang tinggi, peratus kandungan lembapan, w semakin berkurangan. Ini adalah kerana Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang hadir sebagai butiran halus dalam tanah lempung serta salah satu ciri-ciri tanah lempung adalah ia akan aktif dalam proses penyerapan air. Menurut Mitchell (1993) pula, mineral kaolinit dan goetit berupaya untuk memegang dan menyerap air dalam tanah.

Rajah 5.91 menunjukkan graf korelasi antara mineralogi dengan kehilangan berat semasa pembakaran, LOI. Daripada rajah tersebut jelas menunjukkan semakin tinggi peratus aluminium dan ferum oksida dalam sampel tanah akan menyebabkan nilai LOI juga tinggi. Rajah 5.91 ini dapat disokong dengan Rajah 5.90 yang mana hubungan mineralogi dengan kandungan lembapan air dalam tanah. Maka,

kesimpulan yang dapat dinyatakan adalah semakin tinggi kepekatan peratus oksida dalam tanah, kandungan lembapan air akan berkurangan yang disebabkan oleh proses serapan ion-ion OH^- oleh mineral-mineral dalam tanah yang menjadikan nilai LOI meningkat.

Menurut Mitchell (1993), tanah mempunyai kuasa untuk menukarkan kation (cas positif) dengan larutan yang berada disekelilingnya yang mengandungi kation yang lain. Proses pertukaran kation ini disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah ketidakseimbangan cas yang terhasil oleh tindakan gantian isomorfus dalam tanah, ikatan yang terpecah pada pinggir unit silikon-aluminium yang akan menimbulkan cas yang tidak sama yang akan diimbangi oleh kation yang mengalami proses penjerapan. Daripada Jadual 5.30 menunjukkan kehadiran mineral kaolinit sebagai mineral major selain daripada mineral kuarza yang menjelaskan bahawa apa yang berlaku dalam tanah adalah mineral-mineral mengalami pertukaran kation yang disebabkan oleh wujudnya ikatan yang terpecah pada pinggir zarah-zarah tanah lempung tersebut. Maka, Rajah 5.92 menunjukkan semakin tinggi peratus aluminium dan ferum oksida dalam tanah, maka nilai KPK juga meningkat yang disebabkan oleh proses penyerapan kation yang meningkat. Rajah 5.92 juga dapat disokong dengan taburan saiz zarah tanah lempung yang berjulat 16% hingga 44% dalam sampel tanah. Mengikut Mitchell (1993), semakin tinggi peratus saiz zarah lempung dalam tanah, maka jumlah luas permukaan zarah-zarah tanah akan bertambah. Maka, semakin tinggi peratus permukaan zarah-zarah lempung, menyebabkan pertukaran kation juga meningkat dalam tanah.

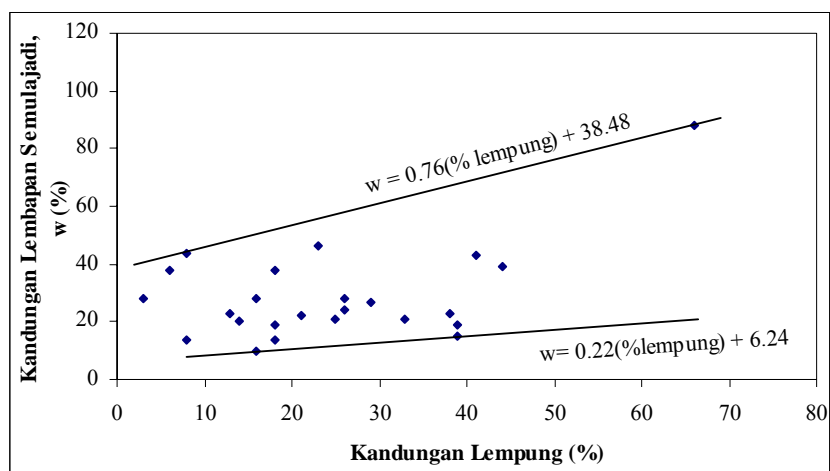
Pada Rajah 5.93 dan 5.94 masing-masing menunjukkan korelasi mineralogi dengan nilai pH dan korelasi nilai pH dengan kepekatan kation dalam tanah. Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam tanah akan meningkat dengan pengurangan nilai pH manakala SiO_2 pula meningkat dengan pertambahan nilai pH. Nilai pH meningkat yang disebabkan oleh proses penyerapan ion-ion OH^- yang tinggi dalam tanah. Tambahan pula, Rajah 5.90 dan 5.91 menunjukkan semakin tinggi kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam tanah akan menyebabkan nilai LOI yang meningkat dan kandungan lembapan, MC yang menurun. Ini adalah kerana proses penyerapan ion-ion OH^- yang tinggi dalam tanah menjadikan sampel-sampel tanah yang diuji semakin berasid. Selain itu, kepekatan

kation didapati bertambah dengan nilai pH. Ini menyebabkan pembentukan yang aktif oleh logam-logam bes dalam tanah baki.

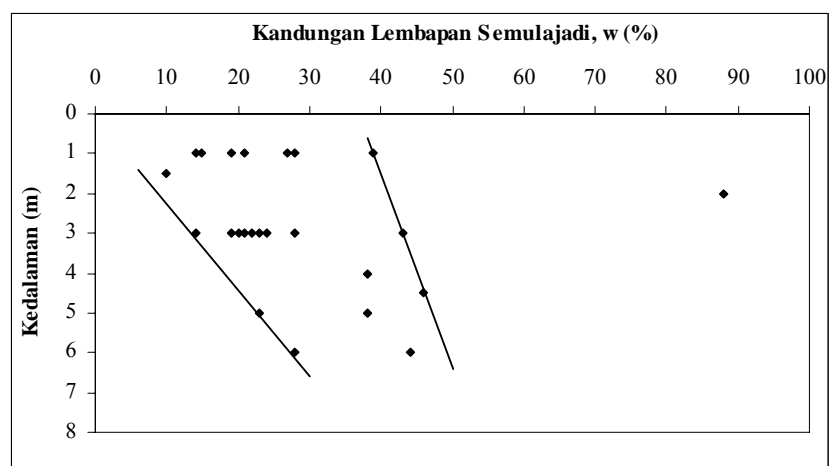
Manakala, pada Rajah 5.95 pula menunjukkan graf korelasi KPK dengan nilai pH tanah. Daripada teori KPK, ia menyatakan bahawa ion-ion ammonium (NH_4^+) menukarganti dengan ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ dan K^+ dalam larutan. Pada bucu ataupun kekisi hablur mineral-mineral dalam sampel tanah yang mengandungi ion-ion OH^- yang tinggi kepekataannya akan dilepaskan dan menyebabkan peningkatan oleh nilai pH. Maka, apabila nilai KPK meningkat akan menyebabkan nilai pH juga bertambah. Apabila nilai pH bertambah, menjadikan tanah semakin beralkali, maka logam-logam alkali akan menjalani proses pemendapan dalam tanah. Oleh itu, apabila kepekatan kation tinggi, maka kadar KPK dalam tanah juga tinggi.

Jadual 5.1 : Nilai kandungan lembapan semulajadi dan graviti tentu

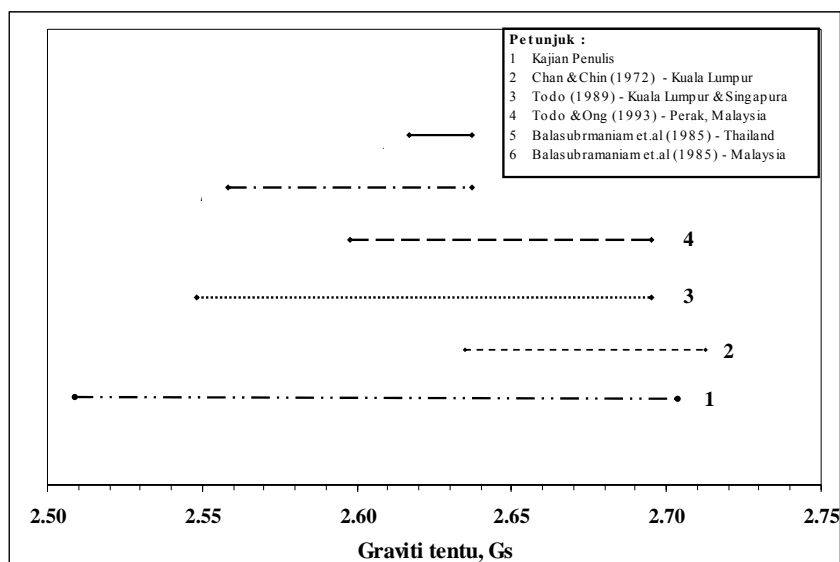
Sampel	Kedalaman (m)	Kandungan Lembapan Semulajadi (%)	Graviti Tentu G_s
WT1	1.0 – 1.5	21	2.65
WT2	3.0 – 3.5	21	2.60
WT3	1.0 – 1.5	19	2.50
WT4	3.0 – 3.5	22	2.61
PC1	1.5 – 2.0	28	2.61
PC2	3.0 -3.5	28	2.67
PC3	4.0 – 4.5	38	2.67
PC4	1.5 – 2.0	39	2.71
PC5	3.0 – 3.5	43	2.70
PC6	4.5 – 5.0	46	2.74
BM1	1.5 – 2.0	10	2.55
BM2	3.0 – 3.5	14	2.57
BM3	1.0 – 2.5	27	2.61
BM4	3.0 – 4.0	24	2.56
SD1	5.0 – 5.5	38	2.64
SD2	6.0 – 6.5	44	2.66
SN1	3.0 – 3.5	88	2.63
MR1	3.0 – 3.5	23	2.64
BR1	5.0 – 6.0	23	2.61
BR2	6.0 – 7.0	28	2.63
TM1	1.0 – 1.5	15	2.59
TM2	3.0 – 3.5	19	2.51
TM3	1.0 – 1.5	14	2.58
TM4	3.0 – 3.5	20	2.58



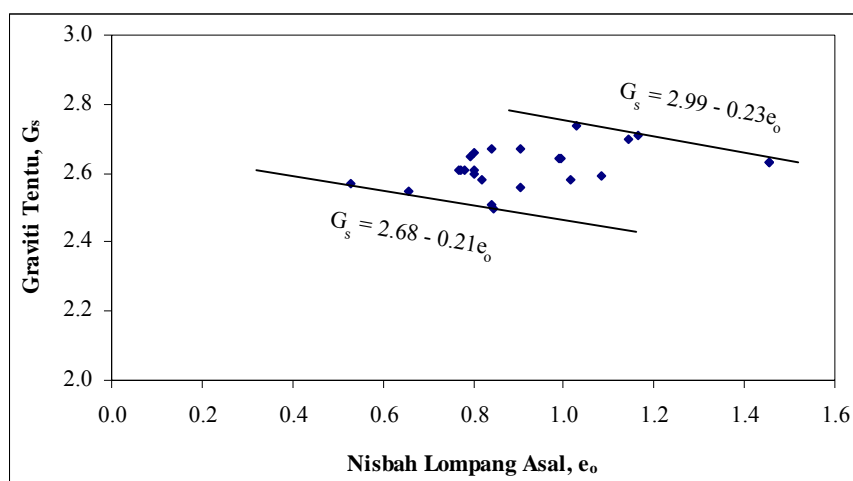
Rajah 5.1 : Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan lempung



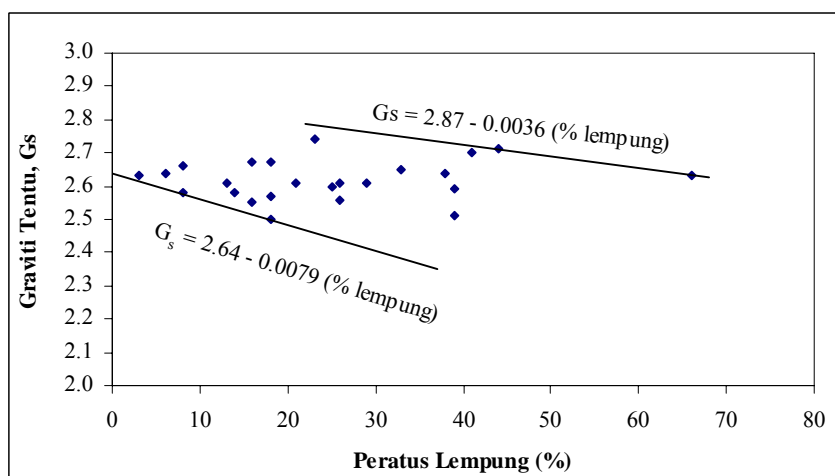
Rajah 5.2 : Kandungan lembapan semulajadi berbanding kedalaman



Rajah 5.3 : Perbandingan nilai graviti tentu



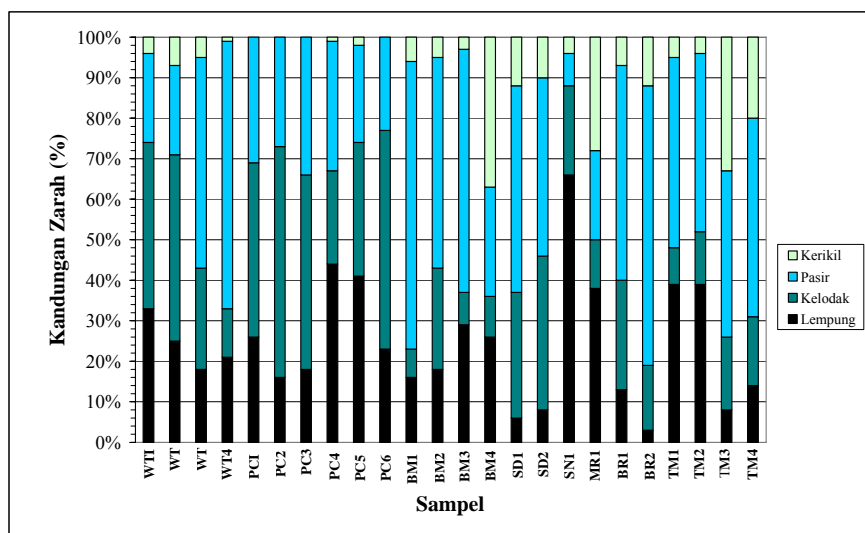
Rajah 5.4 : Hubungan graviti tentu dengan nisbah lompong asal



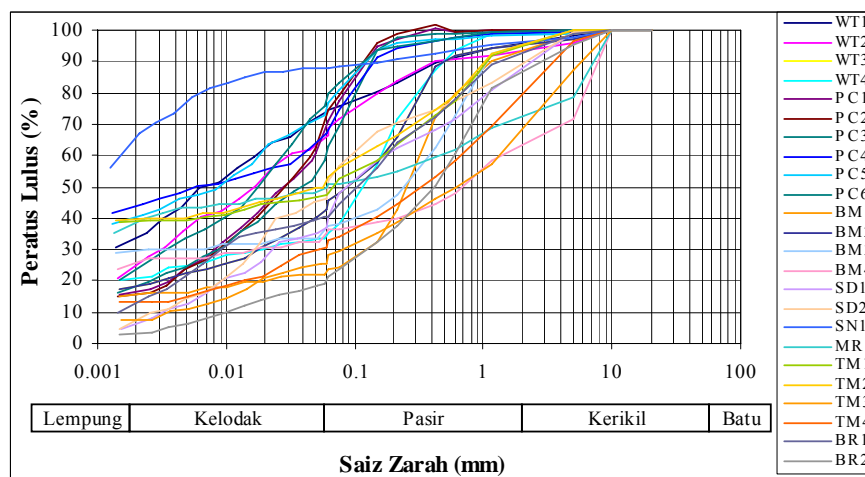
Rajah 5.5 : Hubungan graviti tentu dengan kandungan lempung

Jadual 5.2 : Kandungan zarah dan pengelasan tanah

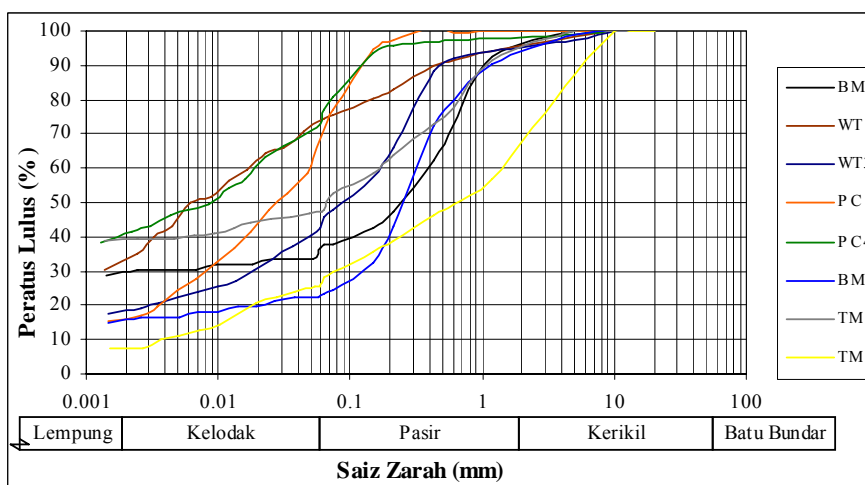
Sampel	Kedalaman (m)	Kerikil (%)	Pasir (%)	Kelodak (%)	Lempung (%)	Pengelasan Tanah (BSCS)
WT1	1.0 – 1.5	4	22	41	33	CV
WT2	3.0 – 3.5	7	22	46	25	CV
WT3	1.0 – 1.5	5	52	25	18	CVS
WT4	3.0 – 3.5	1	66	12	21	SCH
PC1	1.5 – 2.0	0	31	43	26	CH
PC2	3.0 -3.5	0	27	57	16	CH
PC3	4.0 – 4.5	0	34	48	18	CI
PC4	1.5 – 2.0	1	32	23	44	CH
PC5	3.0 – 3.5	2	24	33	41	CH
PC6	4.5 – 5.0	0	23	54	23	CH
BM1	1.5 – 2.0	6	71	7	16	SCH
BM2	3.0 – 3.5	5	52	25	18	CHS
BM3	1.0 – 2.5	3	60	8	29	CHS
BM4	3.0 – 4.0	37	27	10	26	MVG
SD1	5.0 – 5.5	12	51	31	6	MHS
SD2	6.0 – 6.5	10	44	38	8	MHS
SN1	3.0 – 3.5	4	8	22	66	CE
MR1	3.0 – 3.5	28	22	12	38	CHG
BR1	5.0 – 6.0	7	53	27	13	CLS
BR2	6.0 – 7.0	12	69	16	3	SML
TM1	1.0 – 1.5	5	47	9	39	CVS
TM2	3.0 – 3.5	4	44	13	39	CHS
TM3	1.0 – 1.5	33	41	18	8	SMH
TM4	3.0 – 3.5	20	49	17	14	SMH



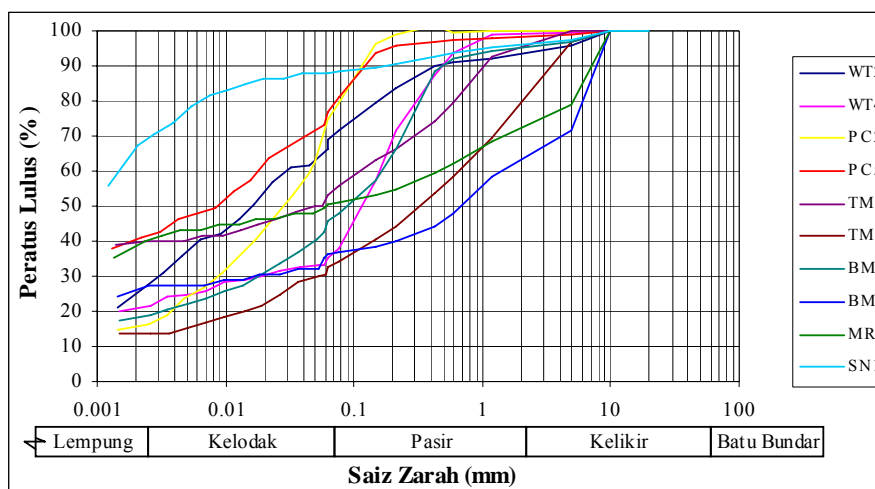
Rajah 5.6 : Kandungan zarah megikut peratus



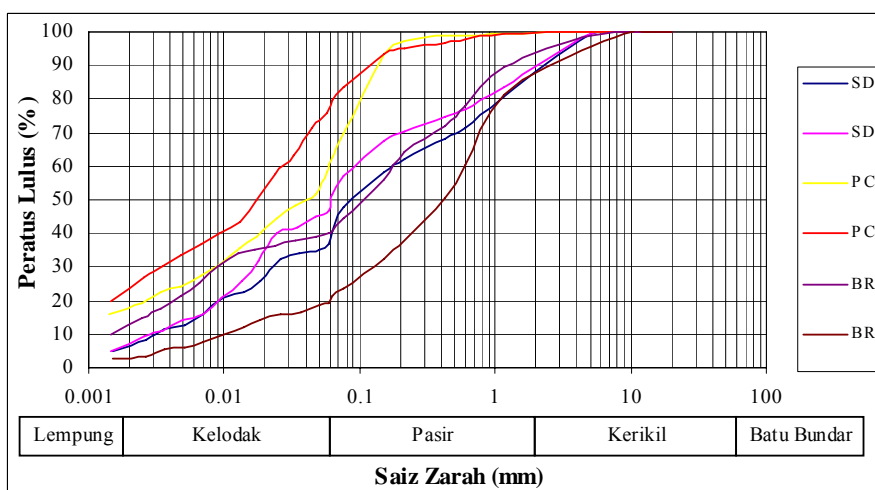
Rajah 5.7 : Taburan saiz zarah bagi semua lokasi



Rajah 5.8 : Taburan saiz zarah pada kedalaman 1 – 2 meter



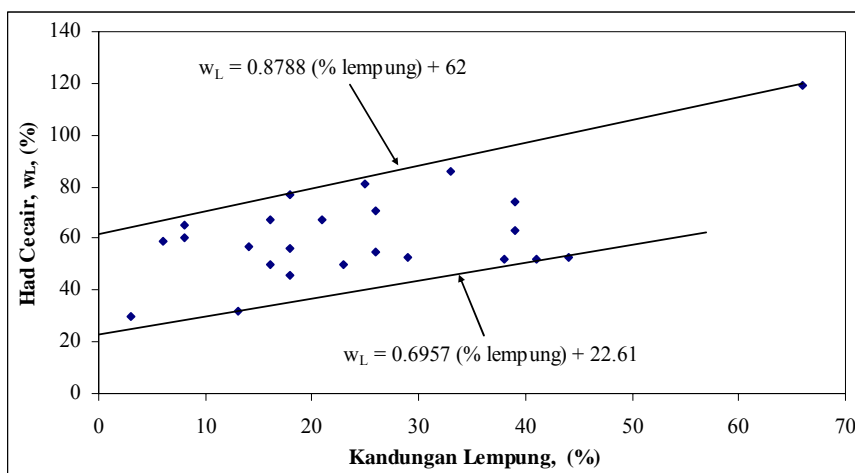
Rajah 5.9 : Taburan saiz zarah pada kedalaman 3 – 4 meter



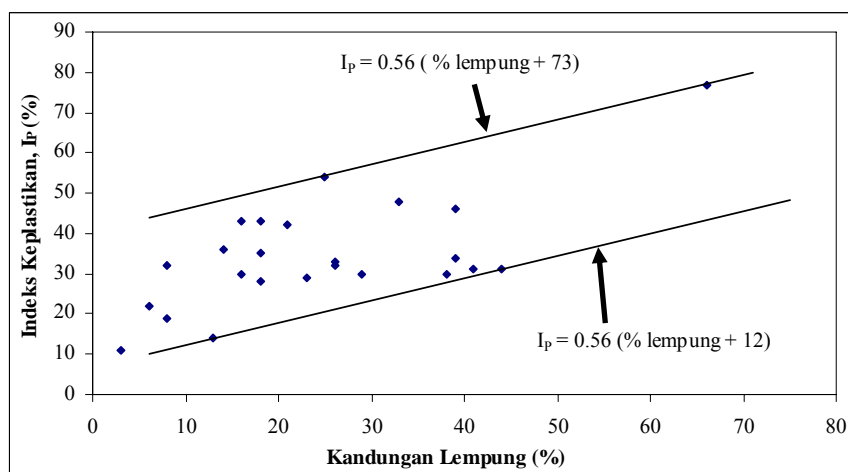
Rajah 5.10 : Taburan saiz zarah pada kedalaman 4-7 meter

Jadual 5.3 : Sifat-sifat keplastikan tanah baki granit

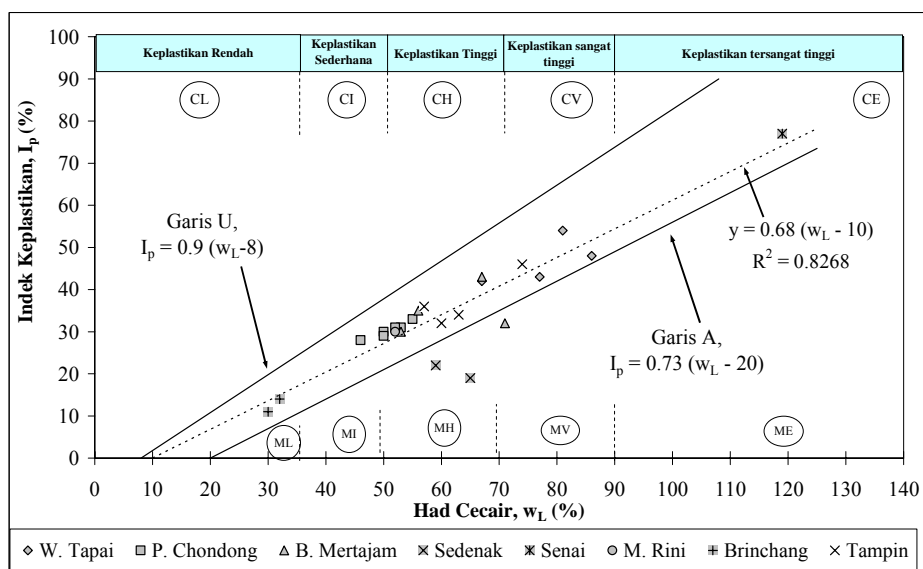
Sampel	Kedalaman (m)	Had Cecair w_L (%)	Had Plastik w_P (%)	Indeks Keplastikan I_p (%)	Indeks Kecairan I_L	Aktiviti A
WT1	1.0 – 1.5	86	34	52	-0.25	1.45
WT2	3.0 – 3.5	81	33	48	-0.11	2.16
WT3	1.0 – 1.5	77	34	43	-0.35	2.39
WT4	3.0 – 3.5	67	25	42	-0.07	2.00
PC1	1.5 – 2.0	55	22	33	0.18	1.27
PC2	3.0 -3.5	50	20	30	0.27	1.88
PC3	4.0 – 4.5	46	18	28	0.71	1.56
PC4	1.5 – 2.0	53	22	31	0.55	0.70
PC5	3.0 – 3.5	52	21	31	0.71	0.76
PC6	4.5 – 5.0	50	21	29	0.86	1.26
BM1	1.5 – 2.0	67	24	43	-0.33	2.69
BM2	3.0 – 3.5	56	21	35	-0.20	1.94
BM3	1.0 – 2.5	53	23	30	0.13	1.03
BM4	3.0 – 4.0	71	39	32	-0.47	1.23
SD1	5.0 – 5.5	59	37	22	0.05	3.67
SD2	6.0 – 6.5	65	46	19	-0.11	2.38
SN1	3.0 – 3.5	119	42	77	0.60	1.17
MR1	3.0 – 3.5	52	22	30	0.03	0.79
BR1	5.0 – 6.0	32	18	14	0.36	1.08
BR2	6.0 – 7.0	30	19	11	0.82	3.67
TM1	1.0 – 1.5	74	28	46	-0.28	1.18
TM2	3.0 – 3.5	63	29	34	-0.29	0.87
TM3	1.0 – 1.5	60	28	32	-0.44	4.00
TM4	3.0 – 3.5	57	21	36	-0.03	2.57



Rajah 5.11 : Kolerasi di antara had cecair dengan kandungan lempung



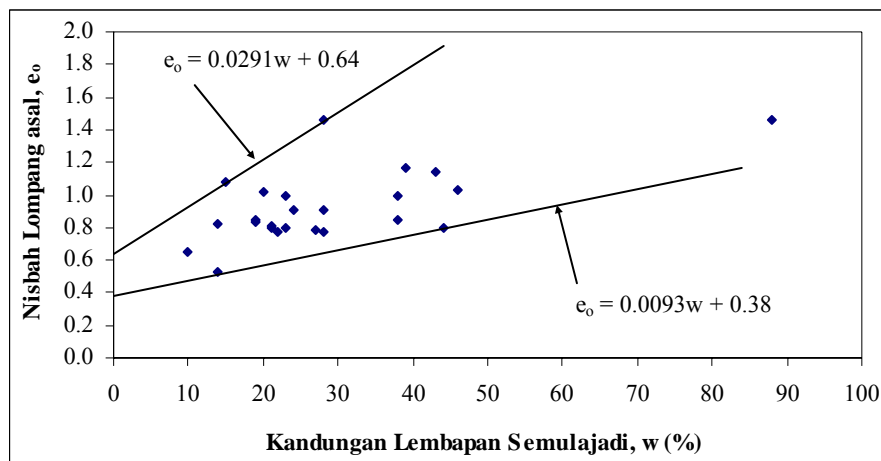
Rajah 5.12 : Korelasi di antara indeks keplastikan dengan kandungan lempung



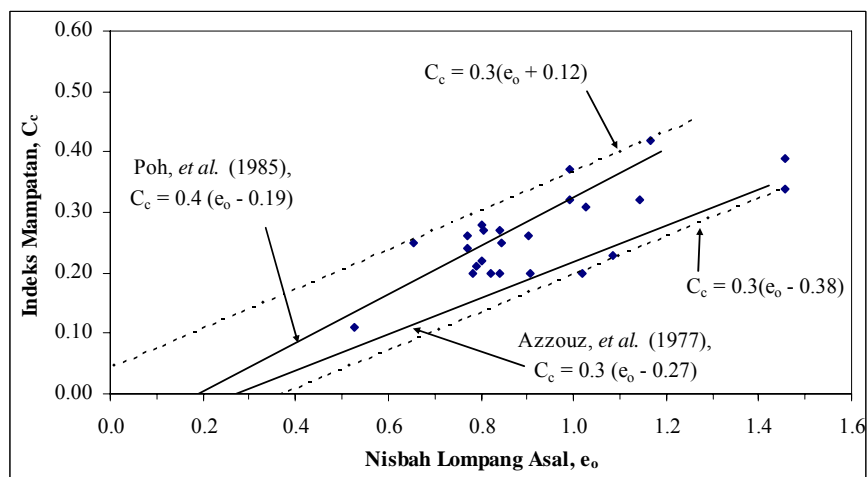
Rajah 5.13 : Carta keplastikan tanah : Sistem British

Jadual 5.4 : Parameter-parameter pengukuhan tanah

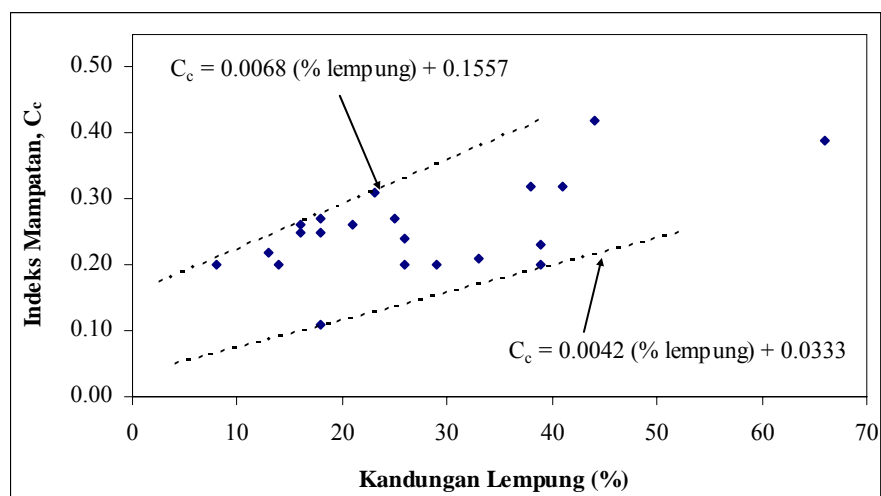
Sampel	Kedalaman (m)	Tekanan Prapengukuhan P_c (kN/m ²)	Ketumpatan, γ (kN/m ³)	Tegasan Sebenar di Situ, $P_o = \gamma h$ (kN/m ²)	Nisbah pengukuh Lebih (OCR) = P_c / P_o	Indeks Mampatan, C_c	Pekali Pengukuhan, c_v (m ² /tahun)	Pekali Kebolehmampatan Isipadu m_v (m ² /MN)	Nisbah Lompang asal (e_o)	Pekali Kebolehtelapan, k ($\times 10^{-9}$) m/s
WT1	1.0 – 1.5	250	18.8	28.2	8.9	0.21	33.70	0.11	0.792	0.916
WT2	3.0 – 3.5	280	18.4	64.4	4.3	0.27	46.40	0.16	0.804	1.839
WT3	1.0 – 1.5	181	17.4	26.1	6.9	0.25	20.14	0.27	0.846	3.518
WT4	3.0 – 3.5	270	18.6	65.1	4.2	0.26	49.64	0.08	0.771	0.256
PC1	1.5 – 2.0	200	19.1	38.2	5.23	0.24	21.77	0.25	0.77	1.764
PC2	3.0 – 3.5	166	18.5	64.7	2.6	0.26	39.60	0.22	0.903	1.899
PC3	4.0 – 4.5	186	18.9	85.1	2.2	0.27	24.13	0.20	0.841	0.533
PC4	1.5 – 2.0	215	18.0	36.0	5.9	0.42	20.21	0.31	1.165	4.690
PC5	3.0 – 3.5	127	17.8	62.3	2.0	0.32	15.02	0.40	1.144	5.419
PC6	4.5 – 5.0	215	18.6	93	2.3	0.31	14.28	0.18	1.028	9.859
BM1	1.5 – 2.0	242	17.7	35.4	6.8	0.25	1.53	0.13	0.655	0.011
BM2	3.0 – 3.5	152	19.4	67.9	2.2	0.11	29.09	0.16	0.528	0.059
BM3	1.0 – 2.5	277	18.2	45.5	6.1	0.20	12.94	0.20	0.781	0.799
BM4	3.0 – 4.0	100	15.8	63.2	1.6	0.20	7.29	0.59	0.905	5.487
SD1	5.0 – 5.5	238	17.1	94.1	2.5	0.37	5.74	0.19	0.992	1.020
SD2	6.0 – 6.5	160	17.4	113.1	1.4	0.28	3.30	0.28	0.801	1.481
SN1	3.0 – 3.5	124	16.7	58.5	2.1	0.39	4.39	0.43	1.456	1.853
MR1	3.0 – 3.5	186	17.5	61.3	3.0	0.32	39.69	0.34	0.99	5.362
BR1	5.0 – 6.0	322	16.1	96.6	3.3	0.22	29.37	0.41	0.801	0.555
BR2	6.0 – 7.0	145	14.8	103.6	1.4	0.34	1.54	0.24	1.456	0.328
TM1	1.0 – 1.5	78	14.4	21.6	3.6	0.23	30.16	1.16	1.085	0.237
TM2	3.0 – 3.5	84	16.0	56.0	1.5	0.20	42.68	0.56	0.839	1.322
TM3	1.0 – 1.5	50	15.5	23.3	2.1	0.20	7.09	1.27	0.821	7.160
TM4	3.0 – 3.5	126	15.7	55.0	2.3	0.20	11.88	0.73	1.017	3.997



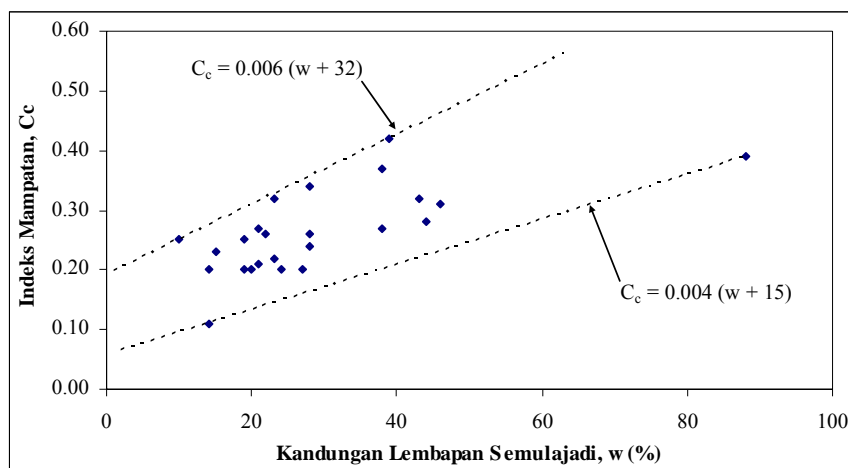
Rajah 5.14 : Korelasi di antara nisbah lompang asal dengan kandungan lembapan semulajadi



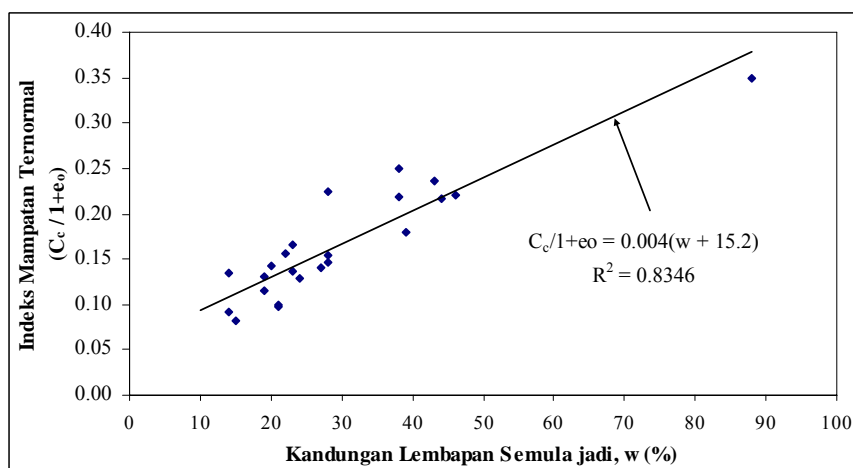
Rajah 5.15 : Korelasi di antara indeks mampatan dengan nisbah lompang asal



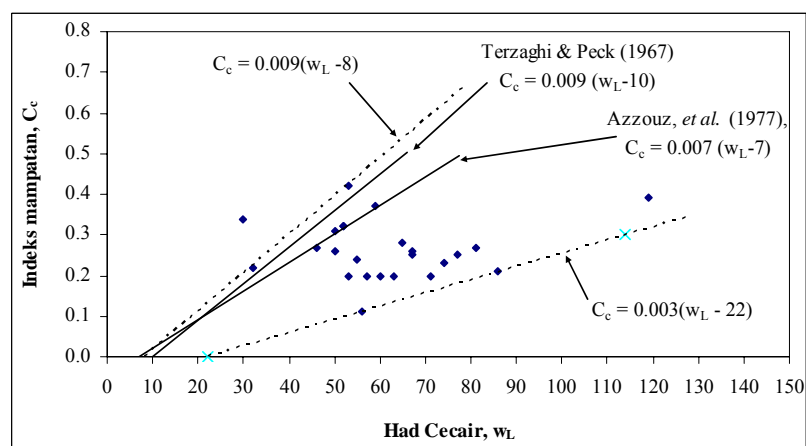
Rajah 5.16 : Korelasi di antara indeks mampatan dengan kandungan lempung



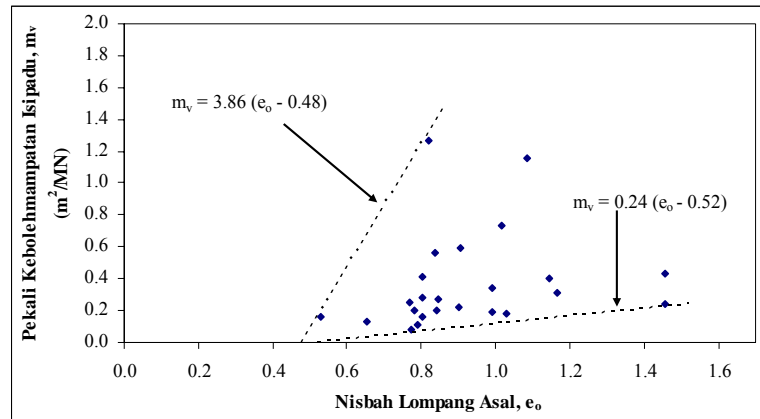
Rajah 5.17 : Korelasi di antara indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi



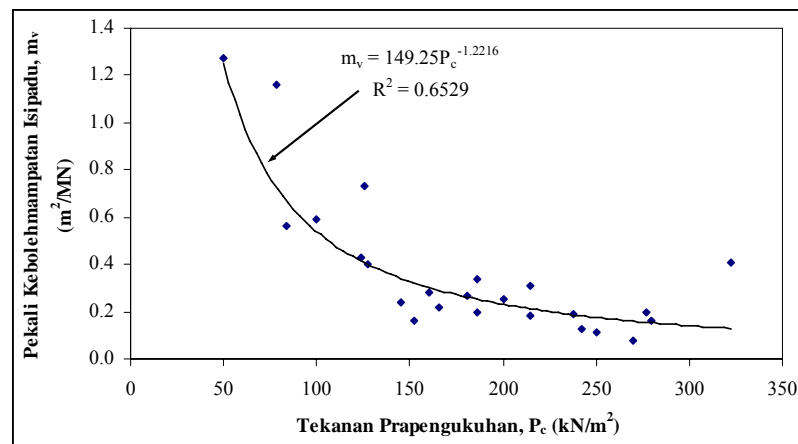
Rajah 5.18 : Korelasi di antara indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan semulajadi



Rajah 5.19 : Korelasi di antara indeks mampatan dengan had cecair



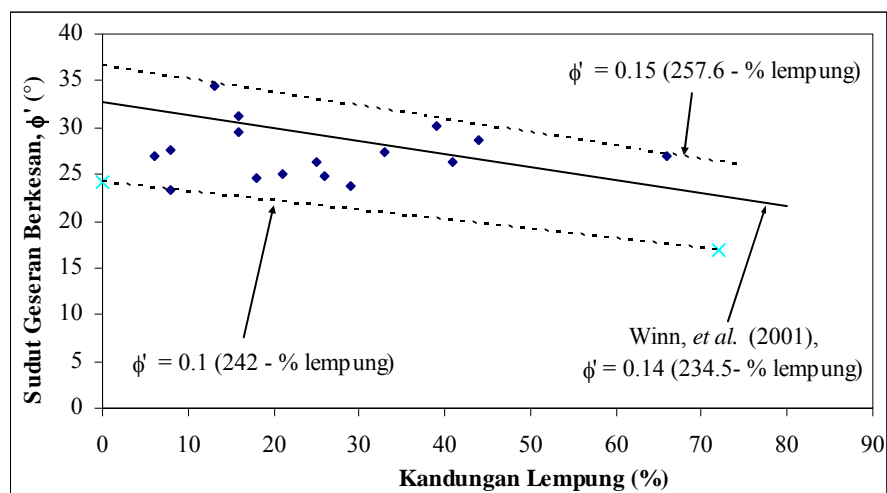
Rajah 5.20 : Korelasi di antara pekali kebolehmpatan isipadu dengan nisbah lompang asal

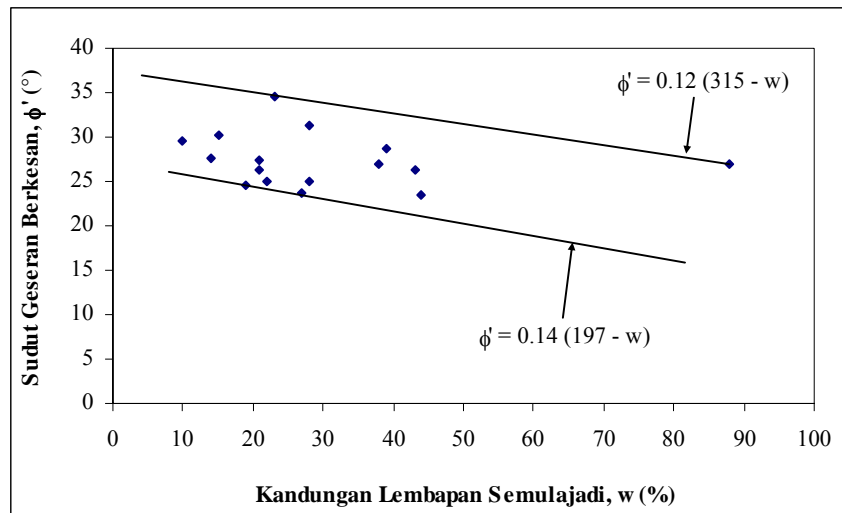


Rajah 5.21 : Korelasi di antara pekali kebolehmpatan isipadu dengan tekanan prapengukuhan

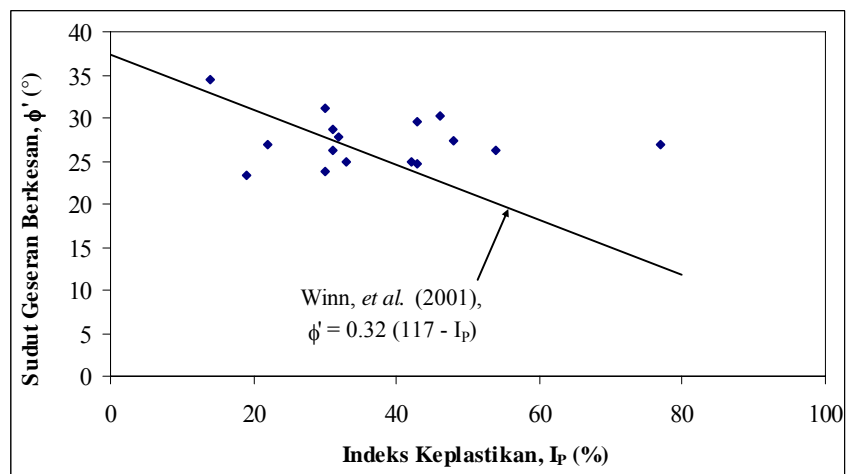
Jadual 5.5 : Parameter - parameter kekuatan ricih tanah

Sampel	Kedalaman (m)	Kejelekitan Berkesan, c' (kN/m^2)	Sudut Geseran Berkesan, ϕ' ($^\circ$)
WT1	1.0 – 1.5	29.7	27.4
WT2	3.0 – 3.5	27.9	26.3
WT3	1.0 – 1.5	22.0	24.6
WT4	3.0 – 3.5	19.9	25.0
PC1	1.5 – 2.0	19.9	24.9
PC2	3.0 -3.5	0	31.2
PC4	1.5 – 2.0	9	28.6
PC5	3.0 – 3.5	16.7	26.3
BM1	1.5 – 2.0	28.7	29.5
BM3	1.0 – 2.5	19.7	23.8
SD1	5.0 – 5.5	9	27.0
SD2	6.0 – 6.5	16.3	23.4
SN1	3.0 – 3.5	22.4	27.0
BR1	5.0 – 6.0	36.4	34.5
TM1	1.0 – 1.5	10.4	30.2
TM3	1.0 – 1.5	6.8	27.7

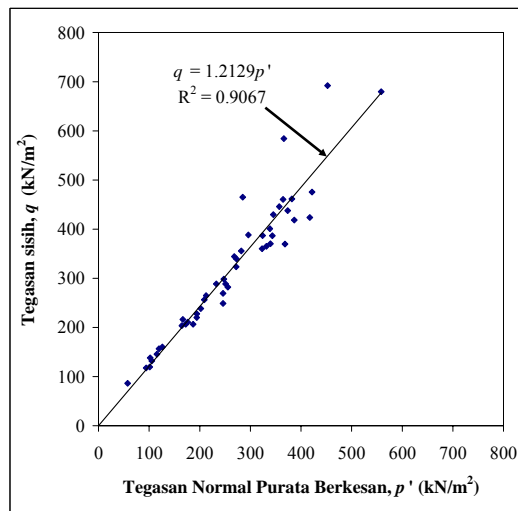
**Rajah 5.22 : Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan kandungan lempung**



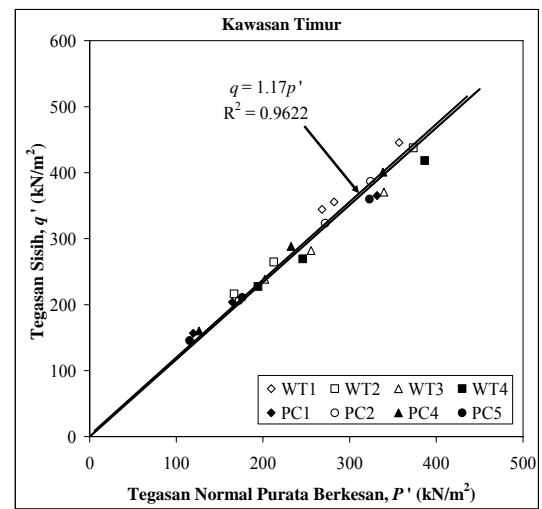
Rajah 5.23 : Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan kandungan lembapan semulajadi



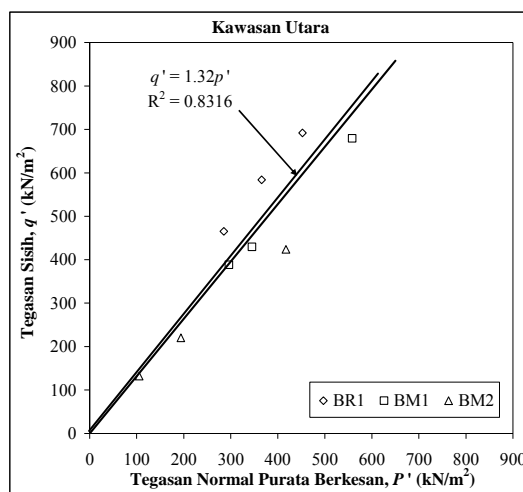
Rajah 5.24 : Korelasi di antara sudut geseran berkesan dengan indeks keplastikan



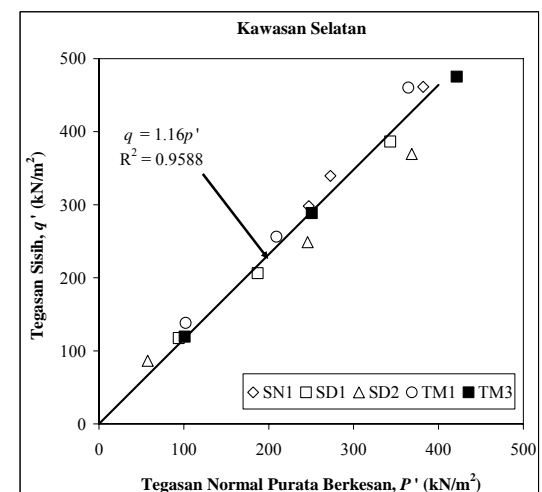
(a)



(b)

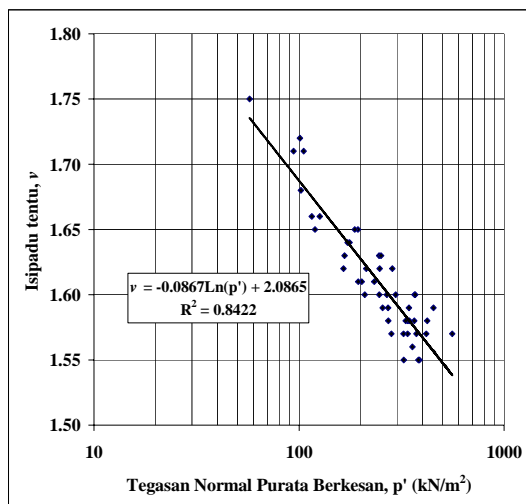


(c)

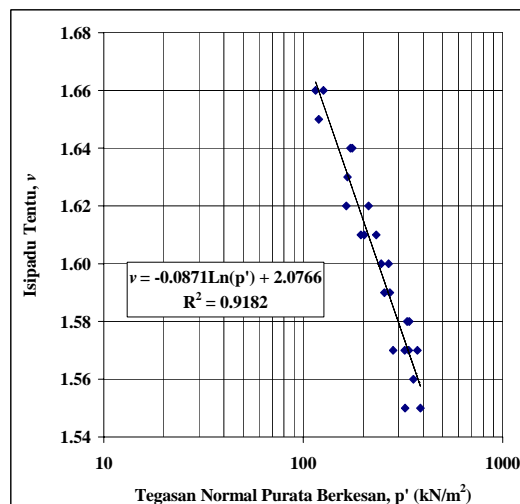


(d)

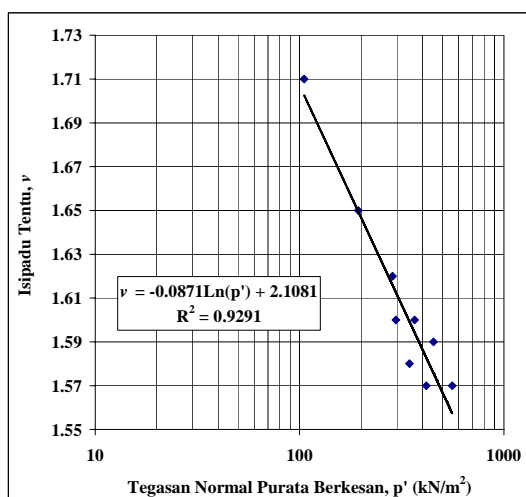
Rajah 5.25 : Garis keadaan genting bagi mendapatkan parameter genting (M)
 (a) semua sampel (b) sampel dari Timur (c) sampel dari Utara dan
 (d) sampel dari Selatan



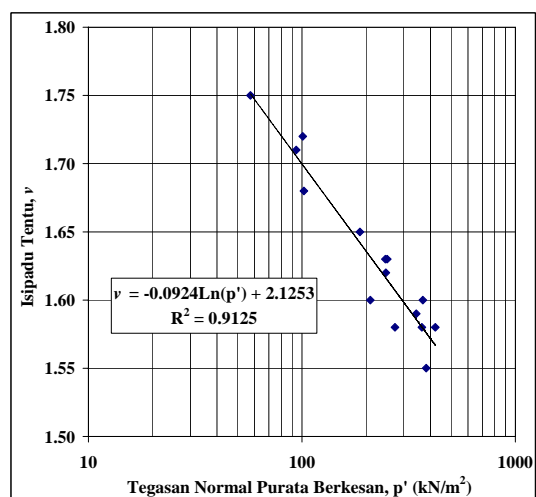
(a)



(b)



(c)



(d)

Rajah 5.26 : Garis keadaan genting bagi mendapatkan parameter genting (λ dan Γ) (a) semua sampel (b) sampel dari Timur (c) sampel dari Utara dan (d) sampel dari Selatan

Jadual 5.6 : Parameter keadaan genting

Parameter	Keseluruhan sampel	Timur	Utara	Selatan
M	1.21	1.17	1.32	1.16
$\phi'_c (^\circ)$	30	29	33	29
Γ	2.0	1.99	2.02	2.03
λ	0.09	0.09	0.09	0.09

Jadual 5.7: Kepekatan Sulfat dan Klorida, Nilai pH dan Peratus Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI) di bahagian Utara dan Tengah Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kepekatan SO ₄ ²⁻ (ppm)	Kepekatan Cl ⁻ (ppm)	Nilai pH	LOI (%)
PA1	1.5 – 2.5	3.26	15	5.82	6.26
PA2	3.0 – 4.0	7.41	26	5.19	7.81
PB1	1.5 – 1.95	3.65	11	6.07	8.95
PB2	4.5 – 4.95	8.92	19	5.7	11.04
PC1	4.5 – 4.95	9.04	12	6.03	10.11
PC2	6.0 – 6.45	14.53	17	5.94	10.12
AA1	1.5 – 1.95	3.79	7	5.42	13.69
AA2	4.5 – 4.95	8.99	16	5.35	7.81
AA3	7.5 – 7.95	11.52	23	6.07	9.82
AB1	4.5 – 4.95	8.99	16	5.76	10.36
AB2	6.0 – 6.45	14.7	19	5.89	9.32
AB3	7.5 – 7.95	13.03	24	5.82	10.01
AD1	1.5 – 1.95	3.89	6	6.93	16.07
AD2	4.5 – 4.95	9.93	18	6.7	12.52
AD3	6.0 – 6.45	11.78	25	4.81	13.01
AC1	7.5 – 7.95	13.65	25	6.49	10.55
AC2	10.5 – 10.75	17.58	32	6.75	7.76
BC1	3.0 – 3.45	6.81	14	5.24	12.90
BC2	6.0 – 6.45	10.27	29	5.23	11.03
BD1	2.0 – 2.45	3.82	12	5.27	16.16
BD2	6.0 – 6.45	10.56	27	5.19	18.67
BD3	7.5 – 7.95	11.34	35	5.02	17.08
BB1	3.0 – 3.45	7.20	15	5.70	5.18
BB2	6.0 – 6.45	11.82	28	5.58	7.92
BB3	9.0 – 9.45	-	-	5.46	3.79
GA1	1.5 – 1.95	3.81	9	5.26	10.22
GA2	3.0 – 3.45	7.73	17	4.34	12.23
KL1	4.0 – 4.45	8.78	15	5.21	11.54
KL2	7.0 – 7.45	11.95	33	5.13	10.94
NA1	6.0 – 6.45	11.10	13	5.62	12.83
NA2	9.0 – 9.45	14.66	38	5.32	11.73
NA3	13.5 – 13.95	16.47	50	5.29	10.2

- : Tiada kajian yang dijalankan

Jadual 5.8: Kepekatan Sulfat dan Klorida, Nilai pH dan Peratus Kehilangan Berat Semasa Pembakaran (LOI) di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kepekatan SO ₄ ²⁻ (ppm)	Kepekatan Cl ⁻ (ppm)	Nilai pH	LOI (%)
KF1	5.0 – 5.5	9.74	11	6.45	9.06
KF2	6.5 – 7.0	12.67	17	5.67	8.74
SA1	1.0 – 1.45	-	12	5.49	18.81
SA2	3.0 – 3.45	-	24	5.35	11.94
SB1	1.0 – 1.45	2.78	14	5.78	17.01
SB2	2.0 – 2.45	4.96	22	5.52	16.53
JB1	2.0 – 2.5	5.06	9	4.93	14.22
JB2	3.5 – 4.0	7.08	13	4.91	13.81
AF1	1.0 – 1.95	2.87	13	5.92	8.20
AF2	3.0 – 3.45	7.13	25	4.68	5.57
CA1	9 - 10	15.57	60	5.68	10.31
CA2	20 – 21	16.70	75	5.12	8.36
TA1	1.0 – 1.5	2.21	12	4.85	15.40
TA2	3.0 – 3.5	7.44	14	4.69	14.12
TB1	1.0 – 1.5	2.26	10	5.32	15.58
TB2	3.0 – 3.5	7.61	16	4.95	15.41
DA1	1.5 – 2.0	3.34	8	5.80	8.47
DA2	3.0 – 3.5	7.29	16	5.78	7.57
DA3	4.0 – 4.5	9.16	23	5.27	7.94
DB1	1.5 – 2.0	3.60	7	6.33	9.29
DB2	3.0 – 3.5	6.83	17	6.11	9.32
DB3	4.0 – 4.5	12.13	25	5.57	8.81

- : Tiada kajian yang dijalankan

Jadual 5.9: Perbandingan Nilai pH dan Kepekatan Anion dengan Kajian Lepas

Pengkaji dan Lokasi Kajian	Nilai pH	Sulfat, SO₄²⁻ (ppm)	Cl⁻ (ppm)
Za-Chieh dan Mirza (1969); Thailand	3.85 – 5.77	-	-
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	5.1 – 5.7	-	-
Tan (1996); Semenanjung Malaysia	4.6 – 7.8	0.5 – 45.5	7.09 – 202.06
Mohd Raihan <i>et al</i> (1997); Semenanjung Malaysia	4.5 – 6.0	-	-
Kajian (Bahagian Utara)	4.81 – 6.93	3.26 – 17.58	6 – 32
Kajian (Bahagian Tengah)	4.34 – 5.70	3.81 – 16.47	9 – 50
Kajian (Bahagian Selatan)	4.68 – 6.45	2.78 – 12.67	9 – 25
Kajian (Bahagian Timur)	4.69 – 6.33	2.21 – 16.70	7 – 75

- : Tiada kajian yang dijalankan

Jadual 5.10: Peratus Kandungan Oksida di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	TiO₂ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)	P₂O₅ (%)
PA1	1.5 – 2.5	78.51	12.96	1.46	0.59	0.02	BDL	0.01	BDL	0.16	0.03
PA2	3.0 – 4.0	69.40	19.11	2.89	0.47	0.01	BDL	BDL	0.09	0.21	0.01
PB1	1.5 – 1.95	56.13	25.12	5.10	0.53	0.02	0.24	0.07	BDL	3.62	0.11
PB2	4.5 – 4.95	47.96	32.48	4.28	0.48	0.02	0.13	0.03	BDL	3.47	0.11
PC1	4.5 – 4.95	50.67	31.45	2.44	0.52	0.02	0.19	0.03	BDL	4.49	0.08
PC2	6.0 – 6.45	50.39	31.12	3.10	0.43	0.02	0.11	0.02	BDL	4.62	0.07
AA1	1.5 – 1.95	46.81	33.95	3.74	0.39	0.02	0.23	0.09	BDL	0.99	0.09
AA2	4.5 – 4.95	70.63	16.25	1.32	0.42	0.02	BDL	0.06	BDL	3.42	0.07
AA3	7.5 – 7.95	50.49	30.70	3.34	0.56	0.02	0.28	0.15	BDL	4.38	0.11
AB1	4.5 – 4.95	51.04	32.25	1.40	0.65	0.02	0.20	0.09	BDL	3.91	0.08
AB2	6.0 – 6.45	57.62	27.62	1.30	0.62	0.02	0.11	0.09	BDL	3.22	0.08
AB3	7.5 – 7.95	50.86	31.94	2.02	0.57	0.02	0.39	0.10	BDL	3.99	0.10
AD1	1.5 – 1.95	46.47	28.61	5.46	0.65	0.04	0.21	0.86	BDL	1.51	0.12
AD2	4.5 – 4.95	47.00	32.84	5.01	0.65	0.01	0.14	0.18	BDL	1.62	0.03
AD3	6.0 – 6.45	46.54	33.54	4.62	0.62	0.01	0.10	0.01	BDL	1.52	0.03
AC1	7.5 – 7.95	51.32	25.59	6.69	0.79	0.03	1.33	0.70	0.10	2.69	0.21
AC2	10.5 – 10.75	51.53	19.10	11.57	1.07	0.30	1.82	1.86	1.85	2.45	0.69

BDL – Di bawah had pengesanan.

Jadual 5.11: Peratus Kandungan Oksida di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)
BC1	3.0 – 3.45	41.18	30.71	13.05	1.45	0.01	0.05	BDL	BDL	0.60	0.05
BC2	6.0 – 6.45	43.49	32.00	8.74	1.22	0.01	0.60	BDL	BDL	2.87	0.04
BD1	2.0 – 2.45	41.12	34.79	6.50	1.14	0.01	0.06	0.08	0.02	0.07	0.05
BD2	6.0 – 6.45	34.07	40.78	5.53	0.78	0.01	BDL	BDL	BDL	0.11	0.05
BD3	7.5 – 7.95	38.65	39.47	3.57	0.96	0.01	BDL	0.01	BDL	0.21	0.04
BB1	3.0 – 3.45	64.30	21.30	3.78	0.73	0.01	0.25	BDL	BDL	4.43	0.02
BB2	6.0 – 6.45	57.22	18.91	12.41	0.70	0.03	0.33	0.01	0.01	2.44	0.02
BB3	9.0 – 9.45	78.11	13.08	1.90	0.48	0.01	0.31	BDL	BDL	2.31	0.01
GA1	1.5 – 1.95	57.96	26.26	2.13	0.58	0.02	0.51	0.08	BDL	2.20	0.04
GA2	3.0 – 3.45	53.37	30.22	2.25	0.70	0.03	0.05	0.01	BDL	1.11	0.03
KL1	4.0 – 4.45	47.63	30.03	8.10	1.28	0.02	0.07	BDL	BDL	1.26	0.07
KL2	7.0 – 7.45	50.30	27.84	8.27	1.17	0.02	0.09	BDL	BDL	1.28	0.09
NA1	6.0 – 6.45	46.21	35.00	4.52	0.40	0.01	0.13	0.02	BDL	0.87	0.01
NA2	9.0 – 9.45	50.81	33.75	1.35	0.20	0.03	0.10	0.01	BDL	1.99	0.03
NA3	13.5 – 13.95	53.49	31.16	0.89	0.18	0.03	0.03	BDL	BDL	3.93	0.09

BDL – Di bawah had pengesanan.

Jadual 5.12: Peratus Kandungan Oksida di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)
KF1	5.0 – 5.5	55.99	23.28	6.93	0.87	0.18	0.49	0.08	0.26	2.71	0.15
KF2	6.5 – 7.0	62.38	20.07	7.01	0.81	0.18	0.19	0.01	0.16	0.32	0.13
SA1	1.0 – 1.45	28.54	39.32	12.27	0.87	0.01	BDL	BDL	0.18	0.08	0.02
SA2	3.0 – 3.45	50.89	31.68	2.31	2.21	0.01	0.23	BDL	0.15	0.54	0.04
SB1	1.0 – 1.45	39.03	34.45	8.02	0.67	0.01	0.19	0.01	0.49	0.11	0.01
SB2	2.0 – 2.45	41.50	35.21	5.45	0.93	0.01	0.13	0.01	0.15	0.07	0.01
JB1	2.0 – 2.5	40.52	35.45	7.75	1.62	0.01	BDL	0.01	BDL	0.40	0.02
JB2	3.5 – 4.0	44.77	37.93	1.84	0.87	BDL	BDL	BDL	BDL	0.78	BDL
AF1	1.0 – 1.95	77.99	12.00	2.18	0.61	0.01	0.04	0.06	0.25	0.85	0.05
AF2	3.0 – 3.45	87.39	2.53	1.27	0.22	0.01	0.23	BDL	0.09	0.05	0.01

BDL – Di bawah had pengesanan.

Jadual 5.13: Peratus Kandungan Oksida di bahagian Timur Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	TiO₂ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)	P₂O₅ (%)
CA1	9 - 10	62.59	23.62	2.55	0.51	0.04	0.97	BDL	0.15	2.72	0.13
CA2	20 - 21	65.88	20.07	2.43	0.37	0.06	0.74	BDL	0.12	1.81	0.16
TA1	1.0 - 1.5	37.25	32.57	12.76	1.49	0.03	BDL	BDL	BDL	0.41	0.09
TA2	3.0 - 3.5	38.94	31.20	13.48	1.28	0.03	0.04	BDL	BDL	0.78	0.13
TB1	1.0 - 1.5	40.54	27.12	14.71	1.65	0.05	BDL	0.01	0.01	0.21	0.12
TB2	3.0 - 3.5	38.83	31.76	11.91	1.62	0.04	BDL	BDL	BDL	0.36	0.07
DA1	1.5 - 2.0	60.42	20.49	5.97	0.86	0.08	0.64	0.30	0.28	2.40	0.09
DA2	3.0 - 3.5	62.02	19.57	6.03	0.92	0.09	0.63	0.30	0.30	2.45	0.12
DA3	4.0 - 4.5	61.18	20.22	6.00	0.89	0.07	0.62	0.27	0.62	2.42	0.13
DB1	1.5 - 2.0	56.66	22.85	6.64	0.87	0.10	0.60	0.25	0.19	2.43	0.12
DB2	3.0 - 3.5	57.53	22.36	6.42	0.84	0.11	0.64	0.32	BDL	2.37	0.09
DB3	4.0 - 4.5	56.66	22.25	5.53	0.88	0.04	0.58	0.22	0.24	2.42	0.10

BDL – Di bawah had pengesanan.

Jadual 5.14: Julat Berat Oksida di Semenanjung Malaysia

Bahagian	TiO₂ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)
Utara	0.42 – 1.07	0.01 – 0.04	< 1.82	< 1.86	< 1.85	0.16 – 4.62
Tengah	0.18 – 1.45	0.01 – 0.03	< 0.60	< 0.08	< 0.02	0.11 – 4.43
Selatan	0.22 – 2.21	0.01 – 0.18	< 0.49	< 0.08	< 0.49	0.05 – 2.71
Timur	0.37 – 1.65	0.03 – 0.11	< 0.97	< 0.32	< 0.62	0.41 – 2.71

Jadual 5.15: Nisbah Berat Oksida di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO₂/Al₂O₃	SiO₂/Fe₂O₃	Al₂O₃/Fe₂O₃
PA1	1.5 – 2.5	6.06	53.77	8.88
PA2	3.0 – 4.0	3.63	24.01	6.61
PB1	1.5 – 1.95	2.23	11.01	4.93
PB2	4.5 – 4.95	1.48	11.21	7.59
PC1	4.5 – 4.95	1.61	20.77	12.89
PC2	6.0 – 6.45	1.62	16.25	10.04
AA1	1.5 – 1.95	1.38	12.52	9.08
AA2	4.5 – 4.95	4.35	53.51	12.31
AA3	7.5 – 7.95	1.64	15.12	9.19
AB1	4.5 – 4.95	1.58	36.46	23.04
AB2	6.0 – 6.45	2.09	44.32	21.25
AB3	7.5 – 7.95	1.59	25.18	15.81
AD1	1.5 – 1.95	1.62	8.51	5.24
AD2	4.5 – 4.95	1.43	9.38	6.55
AD3	6.0 – 6.45	1.39	10.07	7.26
AC1	7.5 – 7.95	2.01	7.67	3.83
AC2	10.5 – 10.75	2.70	4.45	1.65

**Jadual 5.16: Nisbah Berat Oksida di bahagian Tengah Semenanjung
Malaysia**

Sampel	Kedalaman (m)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
BC1	3.0 – 3.45	1.34	3.16	2.35
BC2	6.0 – 6.45	1.36	4.98	3.66
BD1	2.0 – 2.45	1.18	6.33	5.35
BD2	6.0 – 6.45	0.84	6.16	7.37
BD3	7.5 – 7.95	0.98	10.83	11.06
BB1	3.0 – 3.45	3.02	17.01	5.63
BB2	6.0 – 6.45	3.03	4.61	1.52
BB3	9.0 – 9.45	5.97	41.11	6.88
GA1	1.5 – 1.95	2.21	27.21	12.33
GA2	3.0 – 3.45	1.77	23.72	13.43
KL1	4.0 – 4.45	1.59	5.88	3.71
KL2	7.0 – 7.45	1.81	6.08	3.37
NA1	6.0 – 6.45	1.32	10.22	7.74
NA2	9.0 – 9.45	1.51	37.64	25
NA3	13.5 – 13.95	1.72	60.10	35.01

Jadual 5.17: Nisbah Berat Oksida di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
KF1	5.0 – 5.5	2.41	8.08	3.36
KF2	6.5 – 7.0	3.11	8.90	2.86
SA1	1.0 – 1.45	0.73	2.33	3.20
SA2	3.0 – 3.45	1.61	22.03	13.71
SB1	1.0 – 1.45	1.13	4.87	4.30
SB2	2.0 – 2.45	1.18	7.61	6.45
JB1	2.0 – 2.5	1.14	5.23	4.57
JB2	3.5 – 4.0	1.18	24.33	20.61
AF1	1.0 – 1.95	6.50	35.78	5.50
AF2	3.0 – 3.45	34.54	68.81	1.99
CA1	9 - 10	2.65	24.55	9.26
CA2	20 – 21	3.28	27.11	8.26
TA1	1.0 – 1.5	1.14	2.92	2.55
TA2	3.0 – 3.5	1.25	2.89	2.31
TB1	1.0 – 1.5	1.49	2.76	1.84
TB2	3.0 – 3.5	1.22	3.26	2.67
DA1	1.5 – 2.0	2.95	10.12	3.43
DA2	3.0 – 3.5	3.17	10.29	3.25
DA3	4.0 – 4.5	3.03	10.20	3.37
DB1	1.5 – 2.0	2.48	8.53	3.44
DB2	3.0 – 3.5	2.57	8.96	3.48
DB3	4.0 – 4.5	2.55	10.25	4.02

**Jadual 5.18: Perbandingan Nilai Ujikaji Unsur Oksida dengan
Kajian Lepas**

Pengkaji dan Lokasi Kajian	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	K₂O
Radwan (1988); Mesir	67.54 – 70.01	13.55 – 18.73	1.24 – 2.65	0.06 – 1.59	0.18 – 0.73	2.02 – 4.99
Sueoka <i>et al</i> (1996); Nigeria dan Jepun	55.1 – 69.0	15.3 – 25.5	0.64 – 9.83	0.003 – 0.10	0.031 – 0.32	0.33 – 5.66
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	50.5 – 70.5	12.5 – 23.1	6.1 – 14.9	0.3 – 0.8	0.4 – 1.0	0.3 – 0.7
West dan Dumbleton (1970); Semenanjung Malaysia	70 - 72	12 - 14	3 - 4	0 - 2	0 - 1	4 - 6
Hamzah dan Abdul Ghani (1993); Semenanjung Malaysia	66 - 69	19 - 20	1.25 –1.6	0.00 – 0.01	0.44 – 0.46	0.2 – 0.5
Kajian (Bahagian Utara)	46.47 – 78.51	12.96 – 33.95	1.30 – 11.57	< 1.85	< 1.82	0.16 – 4.62
Kajian (Bahagian Tengah)	34.07 – 78.11	13.08 – 40.78	0.89 – 13.05	< 0.08	< 0.60	0.11 – 4.43
Kajian (Bahagian Selatan)	28.54 – 77.99	2.53 – 39.32	1.27 – 12.27	< 0.08	< 0.49	0.05 – 2.71
Kajian (Bahagian Timur)	37.25 – 65.88	19.57 – 32.57	2.43 – 14.71	< 0.32	< 0.97	0.41 – 2.71

Jadual 5.19: Kepekatan Kation di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	Natrium (ppm)
PA1	1.5 – 2.5	23.13	0.00	3.93	6.30
PA2	3.0 – 4.0	5.75	0.83	3.65	5.58
PC1	4.5 – 4.95	146.65	27.03	267.55	59.03
PC2	6.0 – 6.45	127.45	99.95	261.93	64.95
AA1	1.5 – 1.95	61.73	24.55	244.33	47.25
AA2	4.5 – 4.95	47.25	15.28	0.28	34.10
AA3	7.5 – 7.95	34.10	43.75	0.00	80.03
AB1	4.5 – 4.95	32.98	0.00	37.95	32.98
AB2	6.0 – 6.45	22.10	1.80	43.75	22.10
AB3	7.5 – 7.95	24.65	1.55	6.95	21.40
AD1	1.5 – 1.95	66.00	12.75	12.75	31.65
AD2	4.5 – 4.95	50.53	11.35	11.28	29.28
AD3	6.0 – 6.45	42.40	5.55	5.55	29.03
AC1	7.5 – 7.95	81.70	256.88	173.63	55.90
AC2	10.5 – 10.95	80.03	300.93	38.25	74.1

Jadual 5.20: Kepekatan Kation di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	Natrium (ppm)
BC1	3.0 – 3.45	156.60	14.23	2.35	28.03
BC2	6.0 – 6.45	16.90	3.85	2.30	20.00
BD1	2.0 – 2.45	7.28	3.38	3.20	62.50
BD2	6.0 – 6.45	7.23	3.35	2.23	32.95
BD3	7.5 – 7.95	4.20	2.80	2.10	26.53
BB1	3.0 – 3.45	43.93	6.85	3.45	27.70
BB2	6.0 – 6.45	27.65	5.33	3.40	20.88
BB3	9.0 – 9.45	27.23	5.08	3.03	19.68
GA1	1.5 – 1.95	85.35	22.40	4.43	37.30
GA2	3.0 – 3.45	62.25	5.80	1.05	27.50
KL1	4.0 – 4.45	19.28	2.80	2.78	22.68
KL2	7.0 – 7.45	12.80	2.40	1.45	19.53
NA1	6.0 – 6.45	129.68	12.90	2.45	32.15
NA2	9.0 – 9.45	111.58	10.48	1.90	31.90
NA3	13.5 – 13.95	34.13	2.65	2.00	29.48

**Jadual 5.21: Kepekatan kation di bahagian selatan dan timur Semenanjung
Malaysia**

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	Natrium (ppm)
KF1	5.0 – 5.5	59.15	324.73	5.18	5.65
KF2	6.5 – 7.0	13.23	24.88	1.65	3.73
SA1	1.0 – 1.45	15.23	2.15	1.63	5.35
SA2	3.0 – 3.45	5.05	2.03	1.00	4.73
SB1	1.0 – 1.45	8.93	3.33	1.63	8.83
SB2	2.0 – 2.45	8.40	2.90	0.88	6.48
JB1	2.0 – 2.5	23.13	4.15	2.53	35.33
JB2	3.5 – 4.0	15.55	2.95	2.35	32.78
AF1	1.0 – 1.95	62.70	11.53	2.40	8.18
AF2	3.0 – 3.45	7.55	7.85	1.05	6.73
CA1	9 - 10	239.97	452.80	0.00	7.30
CA2	20 – 21	129.55	291.45	0.00	5.95
TA1	1.0 – 1.5	26.40	5.48	3.95	46.83
TA2	3.0 – 3.5	12.35	2.25	3.38	21.28
TB1	1.0 – 1.5	11.50	2.30	2.80	27.40
TB2	3.0 – 3.5	9.05	2.05	2.38	23.30
DA1	1.5 – 2.0	469.63	437.20	8.03	51.85
DA2	3.0 – 3.5	405.18	413.50	7.58	45.73
DA3	4.0 – 4.5	385.33	395.73	6.78	44.73
DB1	1.5 – 2.0	730.23	457.45	15.63	51.08
DB2	3.0 – 3.5	420.03	370.85	8.63	47.60
DB3	4.0 – 4.5	386.70	337.38	4.43	41.98

**Jadual 5.22: Kebolehpaya penukaran kation (KPK) di bahagian Utara
Semenanjung Malaysia**

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	KPK (meq/100 g)
PA1	1.5 – 2.5	278.68	36.32	1066.10	6.35
PA2	3.0 – 4.0	45.88	14.36	826.10	4.37
PC1	4.5 – 4.95	169.00	419.92	733.00	7.60
PC2	6.0 – 6.45	119.76	253.00	897.00	6.90
AB1	4.5 – 4.95	74.04	36.88	1172.60	6.36
AB2	6.0 – 6.45	63.76	27.00	902.96	4.90
AB3	7.5 – 7.95	61.64	27.08	781.64	4.29
AD1	1.5 – 1.95	58.24	113.04	1538.36	8.78
AD2	4.5 – 4.95	63.84	40.08	865.44	4.83
AD3	6.0 – 6.45	53.08	116.52	159.80	1.91
AC1	7.5 – 7.95	114.96	750.00	562.65	9.36
AC2	10.5 – 10.75	82.28	572.76	687.00	8.42

*Rumus KPK = $\frac{\text{Ca}^{2+} \text{ (ppm)}}{200} + \frac{\text{Mg}^{2+} \text{ (ppm)}}{120} + \frac{\text{K}^{+} \text{ (ppm)}}{390}$ dalam unit meq/100 g.

**Jadual 5.23: Kebolehpaya Penukaran Kation (KPK) di bahagian Tengah
Semenanjung Malaysia**

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	KPK (meq/100 g)
BC1	3.0 – 3.45	12.36	2.04	891.66	4.50
BC2	6.0 – 6.45	41.20	10.20	456.67	2.47
BD1	2.0 – 2.45	14.48	10.64	895.84	4.61
BD2	6.0 – 6.45	6.44	5.04	657.30	3.35
BD3	7.5 – 7.95	13.72	33.72	493.96	2.79
BB1	3.0 – 3.45	33.48	12.60	1164.43	6.01
BB2	6.0 – 6.45	20.88	23.80	1073.63	5.62
BB3	9.0 – 9.45	31.04	15.88	603.02	3.23
GA1	1.5 – 1.95	76.40	32.76	820.62	4.57
GA2	3.0 – 3.45	87.48	20.52	232.94	1.56
KL1	4.0 – 4.45	9.08	4.48	869.68	4.41
KL2	7.0 – 7.45	10.80	6.44	613.13	3.15
NA1	6.0 – 6.45	132.72	10.36	1064.87	5.75
NA2	9.0 – 9.45	31.40	5.76	767.70	3.97
NA3	13.5 – 13.95	63.56	7.40	489.27	2.67

*Rumus KPK = $\frac{\text{Ca}^{2+} \text{ (ppm)}}{200} + \frac{\text{Mg}^{2+} \text{ (ppm)}}{120} + \frac{\text{K}^{+} \text{ (ppm)}}{390}$ dalam unit meq/100 g.

Jadual 5.24: Kebolehpaya Penukaran Kation (KPK) di bahagian Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	KPK (meq/100 g)
KF1	5.0 – 5.5	174.24	584.60	665.91	8.65
KF2	6.5 – 7.0	62.16	165.96	967.92	6.38
SA1	1.0 – 1.45	77.56	32.08	911.16	5.02
SA2	3.0 – 3.45	26.92	7.36	766.73	3.96
SB1	1.0 – 1.45	42.72	42.92	1349.16	7.21
SB2	2.0 – 2.45	52.24	9.28	1007.54	5.25
JB1	2.0 – 2.5	45.32	41.37	66.02	0.79
JB2	3.5 – 4.0	21.40	32.04	63.63	0.64
AF1	1.0 – 1.95	141.36	128.56	1367.43	8.27
AF2	3.0 – 3.45	49.48	13.76	171.29	1.10
CA1	9 - 10	76.64	6.04	106.92	0.78
CA2	20 – 21	43.72	15.84	61.04	0.55
TA1	1.0 – 1.5	26.20	2.88	191.56	1.05
TA2	3.0 – 3.5	41.80	11.64	26.44	0.34
TB1	1.0 – 1.5	18.04	8.40	201.04	1.12
TB2	3.0 – 3.5	13.64	5.48	61.00	0.39
DA1	1.5 – 2.0	23.64	98.28	1732.52	9.54
DA2	3.0 – 3.5	33.68	154.68	1172.12	7.24
DA3	4.0 – 4.5	28.04	86.64	924.36	5.42
DB1	1.5 – 2.0	93.68	265.16	2085.12	12.88
DB2	3.0 – 3.5	76.04	376.32	1146.36	9.06
DB3	4.0 – 4.5	76.72	373.84	1098.96	8.81

*Rumus KPK = $\frac{\text{Ca}^{2+} \text{ (ppm)}}{200} + \frac{\text{Mg}^{2+} \text{ (ppm)}}{120} + \frac{\text{K}^{+} \text{ (ppm)}}{390}$ dalam unit meq/100 g.

Jadual 5.25: Julat Kepekatan Kation di Semenanjung Malaysia

Bahagian	Kalium (ppm)	Magnesium (ppm)	Kalsium (ppm)	Natrium (ppm)
Utara	5.75 – 146.65	≤ 300.93	≤ 267.55	5.58 – 80.03
Tengah	4.20 – 156.60	2.65 – 22.40	1.05 – 4.43	19.68 – 62.50
Selatan	5.05 – 59.15	2.03 – 324.73	0.88 – 5.18	3.73 – 35.33
Timur	9.05 – 730.23	2.05 – 457.45	≤ 15.63	5.95 – 51.85

Jadual 5.26: Perbandingan Kepekatan Kation dan KPK dengan Kajian Lepas

Pengkaji dan Lokasi Kajian	Na²⁺ (ppm)	K⁺ (ppm)	Mg²⁺ (ppm)	Ca²⁺ (ppm)	KPK (ppm)
Za-Chieh dan Mirza (1969); Thailand	-	-	-	-	14
Mohr (1973); India dan Afrika Selatan	-	-	-	-	9.5 – 14.2
Sueoka <i>et al</i> (1996); Nigeria dan Jepun	-	-	-	-	4.62 – 14.2
Tan (1996); Semenanjung Malaysia	2.93 – 31	0.6 – 8.0	0.015 – 2.07	0.4 – 26.66	-
Mohd Raihan <i>et al</i> (1997); Semenanjung Malaysia	-	-	-	-	6.2 – 15.8
Kajian (Bahagian Utara)	5.575 – 80.03	5.75 – 146.65	≤ 300.93	≤ 267.55	1.91 – 9.36
Kajian (Bahagian Tengah)	19.675 – 62.50	4.20 – 156.60	2.65 – 22.40	1.050 – 4.43	1.56 – 6.01
Kajian (Bahagian Selatan)	3.725 – 35.33	5.05 – 59.15	2.025 – 324.73	0.875 – 5.18	0.64 – 8.65
Kajian (Bahagian Timur)	5.95 – 51.85	9.05 – 730.23	2.05 – 457.45	≤ 15.63	0.34 – 12.88

- : Tiada kajian yang dijalankan.

Jadual 5.27: Kandungan Mineral di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kandungan Mineral (Dari Relatif Terbanyak ke Tersedikit)
PA1	1.5 – 2.5	Kuarza > Kaolinit > Montmorilonit
PA2	3.0 – 4.0	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit
PB1	1.5 – 1.95	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Mikrolin/Ortoklas > Ilit > Montmorilonit
PB2	4.5 – 4.95	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
PC1	4.5 – 4.95	Kaolinit > Kuarza > Ortoklas/Mikrolin > Muskovit > Ilit > Montmorilonit > Gibsit
PC2	6.0 – 6.45	Kaolinit > Kuarza > Ortoklas/Mikrolin > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
AA1	1.5 – 1.95	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Ortoklas > Ilit > Montmorilonit
AA2	4.5 – 4.95	Kuarza > Ortoklas > Kaolinit > Ilit > Muskovit
AA3	7.5 – 7.95	Kaolinit > Muskovit > Kuarza > Ilit > Montmorilonit dan Ortoklas
AB1	4.5 – 4.95	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
AB2	6.0 – 6.45	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortolkas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
AB3	7.5 – 7.95	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Ilit > Montmorilonit
AD1	1.5 – 1.95	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Montmorilonit > Ilit
AD2	4.5 – 4.95	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
AD3	6.0 – 6.45	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
AC1	7.5 – 7.95	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Haloisit
AC2	10.5 – 10.75	Montmorilonit > Kuarza > Kaolinit > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Goetit

Jadual 5.28: Kandungan Mineral di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kandungan Mineral (Dari Relatif Terbanyak ke Tersedikit)
BC1	3.0 – 3.45	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Ilit > Montmorilonit > Muskovit
BC2	6.0 – 6.45	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Ilit > Montmorilonit
BD1	2.0 – 2.45	Kaolinit > Kuarza > Ilit > Muskovit > Montmorilonit
BD2	6.0 – 6.45	Kaolinit > Gibsit > Kuarza > Goetit > Ilit
BD3	7.5 – 7.95	Kaolinit > Gibsit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
BB1	3.0 – 3.45	Kuarza > Kaolinit > Ortoklas/Mikrolin > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
BB2	6.0 – 6.45	Kuarza > Kaolinit > Goetit > Muskovit > Montmorilonit > Ilit
BB3	9.0 – 9.45	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Ortoklas/Mikrolin
GA1	1.5 – 1.95	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Montmorilonit > Mikrolin/Ortoklas
GA2	3.0 – 3.45	Kuarza > Kaolinit > Gibsit > Ilit > Muskovit
KL1	4.0 – 4.45	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Mikrolin/Ortoklas > Gibsit
KL2	7.0 – 7.45	Kaolinit > Kuarza > Montmorilonit > Muskovit > Ilit > Goetit > Mikrolin
NA1	6.0 – 6.45	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Goetit > Ilit > Montmorilonit
NA2	9.0 – 9.45	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Mikrolin/Ortoklas > Montmorilonit > Gibsit

Jadual 5.29: Kandungan Mineral di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kandungan Mineral (Dari Relatif Terbanyak ke Tersedikit)
KF1	5.0 – 5.5	Kuarza > Kaolinit > Montmorilonit > Muskovit > Antigorit > Rutil
KF2	6.5 – 7.0	Kuarza > Kaolinit
SA1	1.0 – 1.45	Kuarza > Kaolinit > Goetit > Gibsit > Muskovit
SA2	3.0 – 3.45	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Gibsit > Goetit
SB1	1.0 – 1.45	Kaolinit > Kuarza > Montmorilonit > Gibsit > Muskovit
SB2	2.0 – 2.45	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Montmorilonit > Ilit > Gibsit
JB1	2.0 – 2.5	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Ilit > Muskovit
JB2	3.5 – 4.0	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Gibsit
AF1	1.0 – 1.95	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ortoklas/Mikrolin
AF2	3.0 – 3.45	Kuarza

Jadual 5.30: Kandungan Mineral di bahagian Timur Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Kandungan Mineral (Dari Relatif Terbanyak ke Tersedikit)
CA1	9 - 10	Kuarza > Muskovit > Mikrolin/Ortoklas > Gibsit > Montmorilonit
CA2	20 – 21	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit > Gibsit > Mikrolin/Ortoklas
TA1	1.0 – 1.5	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Ilit > Montmorilonit
TA2	3.0 – 3.5	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Ilit > Muskovit > Montmorilonit
TB1	1.0 – 1.5	Kuarza > Kaolinit > Goetit > Gibsit > Montmorilonit
TB2	3.0 – 3.5	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Gibsit > Ilit > Muskovit
DA1	1.5 – 2.0	Kuarza > Kaolinit > Ortoklas/Mikrolin > Ilit
DA2	3.0 – 3.5	Kuarza > Kaolinit > Ilit > Muskovit > Goetit > Montmorilonit
DA3	4.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit
DB1	1.5 – 2.0	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit
DB2	3.0 – 3.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Montmorilonit dan Mikrolin
DB3	4.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Mikrolin/Ortoklas

Jadual 5.31: Julat Mineral Major dan Minor di Semenanjung Malaysia

Bahagian	Mineral Major	Mineral Minor
Utara	Kuarza, Kaolinit, Muskovit	Montmorilonit, Mikrolin/Ortoklas, Ilit
Tengah	Kuarza, Kaolinit	Muskovit, Montmorilonit, Goetit, Ilit
Selatan	Kuarza, Kaolinit	Muskovit, Montmorilonit, Goetit, Gibsit
Timur	Kuarza, Kaolinit	Muskovit, Goetit, Montmorilonit, Ilit

Jadual 5.32: Perbandingan Nilai Ujikaji bagi Mineralogi antara Pengkaji Lepas dengan Kajian yang Dijalankan

Pengkaji dan Lokasi Kajian	Q	Ka	He	I	Mo	V	Gi	Go	Mu	Ha	O
Za-Chieh dan Mirza (1969); Thailand	■	■	-	□	□	-	-	-	-	-	-
West dan Dumbleton (1970); Johor dan Negeri Sembilan, Semenanjung Malaysia	■	□	-	□	-	-	-	□	-	-	-
	■	■	□	-	-	-	-	-	-	-	-
Mohr (1973)	■	■	-	-	-	□	□	□	-	-	-
Balasubramaniam <i>et al</i> (1985)	■	-	□	-	-	-	-	-	-	-	□
Zauyah (1985)	■	■	-	□	-	-	□	-	-	-	-
Rao <i>et al</i> (1988)	■	■	-	-	□	-	-	-	□	-	-
Sueoka <i>et al</i> (1996); Nigeria dan Jepun	■	■	□	□	□	-	-	-	-	-	-
	■	■	-	□	-	□	-	-	-	-	-
Irfan (1996)	■	□	-	□	-	-	□	□	□	■	-
Cook <i>et al</i> (1996)	■	■	-	-	-	-	□	-	-	-	-
Aung <i>et al</i> (2000)	■	■	-	□	□	-	-	-	-	□	-
Kajian (Bahagian Utara)	■	■	-	□	□	-	-	-	□	-	□
Kajian (Bahagian Tengah)	■	■	-	□	□	-	□	□	□	-	□
Kajian (Bahagian Selatan)	■	■	-	□	□	-	□	□	□	-	-
Kajian (Bahagian Timur)	■	■	-	□	□	-	-	□	□	-	□

Q : Kuarza, Ka : Kaolinit, He : Hematit, I : Ilit, Mo : Montmorilonit, V : Vermikulit, Gi : Gibbsit, Go – Goetit, Mu : Muskovit,

Ha : Haloisit, O : Ortoklas. - : Tiada mineral yang dikesan; ■ : Mineral Major; □ : Mineral Minor.

Jadual 5.33: Mikrostruktur dan Mikrofabrik bagi Sampel di seluruh bahagian Semenanjung Malaysia

Sampel	Kedalaman (m)	Mikrostruktur	Mikrofabrik
PA1	1.5 – 2.5	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan terselaput
PA2	3.0 – 4.0	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
AC1	7.5 – 7.95	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
AC2	10.5 – 10.75	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan individu
PC1	4.5 – 4.95	Matriks lempung	Bertiub secara rawak atau domain
PC2	6.0 – 6.45	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
NA1	6.0 – 6.45	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
NA2	9.0 – 9.45	Matriks lempung	Empingan secara lamina atau selari
NA3	13.5 – 13.95	Matriks lempung	Empingan secara lamina atau selari
KL1	4.0 – 4.45	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan terselaput
GA1	1.5 – 1.95	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
GA2	3.0 – 3.45	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan terselaput
BD1	2.0 – 2.45	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan individu
BD2	6.0 – 6.45	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
AF1	1.0 – 1.95	Matriks berbutir	Empingan secara rawak dan bergugus
AF2	3.0 – 3.45	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
KF1	5.0 – 5.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
KF2	6.5 – 7.0	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
JA2	2.0 – 2.5	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan individu
JA3	3.5 – 4.0	Matriks berbutir	Berbutir dengan hubungan individu
DB2	3.0 – 3.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
DB3	4.0 – 4.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
DA2	3.0 – 3.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
DA3	4.0 – 4.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain
TA1	1.0 – 1.5	Matriks lempung	Berbutir dengan hubungan terselaput
TA2	3.0 – 3.5	Matriks lempung	Empingan secara rawak atau domain

Jadual 5.34: Perbandingan Nilai Ujikaji bagi Mikrostruktur dan Mikrofabrik antara Pengkaji Lepas dengan Kajian yang Dijalankan

Pengkaji dan Lokasi Kajian	Kajian Mineralogi
Aung <i>et al</i> (2000); Singapura	<p>Pada kedalaman sampel ujikaji 4 m – 5 m;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berstruktur padat, jumlah liang-liang mikro kecil • Mempunyai fabrik berbentuk gugusan dan berstruktur matriks lempung
	<p>Pada kedalaman sampel ujikaji 8.5 m – 9.5 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berstruktur padat, jumlah liang-liang mikro besar • Mempunyai fabrik berbentuk butiran dan berstruktur matriks butiran dan lempung
Cook <i>et al</i> (1996); Malaysia	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk fabrik tanah yang terdiri daripada ped yang lemah • Taburan fabrik tanah dalam keadaan bergugus-gugus • <i>Meso-pattern</i> fabrik yang tidak sebetul
	<p>Pengujian sampel tanah yang menggunakan Mikroskop Binokular, didapati bahawa:-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ped fabrik yang berblok-blok • Kehadiran mineral kuarza yang berbentuk butiran bersegi-segi dan perubahan warna tanah yang sepenuhnya akibat daripada proses luluhawa
Kajian (Bahagian Utara)	<ul style="list-style-type: none"> • Pada kedalaman cetek, struktur tanah adalah padat manakala pada kedalaman yang bawah, struktur tanah adalah longgar. • Mempunyai struktur tanah yang merangkumi matriks lempung dan berbutir • Fabrik tanah yang sebahagiannya berbentuk empingan yang disusun secara rawak dan sebahagiannya berbentuk butiran dengan hubungan terselaput.
Kajian (Bahagian Tengah)	
Kajian (Bahagian Selatan)	
Kajian (Bahagian Timur)	

Jadual 5.35 : Ketepatan korelasi (Martto, 1996)

Nilai R^2	Jenis Korelasi
< 0.25	Korelasi yang kurang baik
0.25 – 0.55	Korelasi yang agak baik
0.56 – 0.80	Korelasi yang baik
> 0.80	Korelasi yang sangat baik

Jadual 5.36 : Ringkasan korelasi

(i) Korelasi dengan persamaan

Bil	Korelasi	Persamaan	R ²	Jenis korelasi
1	Indeks keplastikan & had cecair	$I_p = 0.68(w_L - 10)$	0.83	Korelasi yang sangat baik
2	Indeks mampatan ternormal & kandungan lembapan semulajadi	$\frac{C_c}{1 + e_o} = 0.004(w + 15.2)$	0.83	Korelasi yang sangat baik
3	Pekali kebolehmampatan isipadu & tekanan prapengukuhan	$m_v = 149.25P_c^{-1.2216}$	0.65	Korelasi yang baik

(ii) Korelasi dengan persamaan had atas dan had bawah

Bil	Korelasi	Had atas	Had bawah
1	Kandungan lembapan semulajadi & kandungan lempung	$w = 0.76(\% \text{ lempung} + 38.48)$	$w = 0.22(\% \text{ lempung} + 6.24)$
2	Graviti tentu & nisbah lompong asal	$G_s = 2.99 - 0.23e_o$	$G_s = 2.68 - 0.21e_o$
3	Graviti tentu & kandungan lempung	$G_s = 2.87 - 0.0036(\% \text{ lempung})$	$G_s = 2.64 - 0.0079(\% \text{ lempung})$
4	Had cecair & kandungan lempung	$w_L = 0.88(\% \text{ lempung} + 62)$	$w_L = 0.70(\% \text{ lempung} + 23)$
5	Indeks keplastikan & kandungan lempung	$I_p = 0.56(\% \text{ lempung} + 73)$	$I_p = 0.56(\% \text{ lempung} + 12)$
6	Nisbah lompong asal & kandungan lembapan semulajadi	$e_o = 0.03w + 0.64$	$e_o = 0.01w + 0.38$
7	Indeks mampatan & nisbah lompong asal	$C_c = 0.3(e_o + 0.12)$	$C_c = 0.3(e_o - 0.38)$
8	Indeks mampatan & kandungan lempung	$C_c = 0.01(\% \text{ lempung}) + 0.16$	$C_c = 0.01(\% \text{ lempung}) + 0.03$
9	Indeks mampatan & kandungan lembapan semulajadi	$C_c = 0.01(w + 32)$	$C_c = 0.01(w + 15)$
10	Indeks mampatan & had cecair	$C_c = 0.01(w_L - 8)$	$C_c = 0.003(w_L - 22)$
11	Pekali kebolehmampatan isipadu & nisbah lompong asal	$m_v = 3.86(e_o - 0.48)$	$m_v = 0.24(e_o - 0.52)$
12	Sudut geseran berkesan & kandungan lempung	$\phi' = 0.15(257.6 - \% \text{ lempung})$	$\phi' = 0.1(242 - \% \text{ lempung})$
13	Sudut geseran berkesan & kandungan lembapan semulajadi	$\phi' = 0.12(315 - w)$	$\phi' = 0.14(197 - w)$

**Jadual 5.37: Ciri-ciri Fizikal Tanah Baki Granit di bahagian Timur Semenanjung
Malaysia (Aminaton *et al*, 2002)**

Kod	Kedalaman (m)	Had Atterberg			Analisis Ayakan Tanah				Kandungan
		w _L (%)	w _p (%)	IP (%)	Kerikil (%)	Pasir (%)	Kelodak (%)	Lempung (%)	Lembapan, w (%)
TA1	1.0 – 1.5	86	33	53	4	22	41	33	21
TA2	3.0 – 3.5	81	27	54	7	22	46	25	21
TB1	1.0 – 1.5	77	34	43	5	52	25	18	19
TB2	3.0 – 3.5	67	25	42	1	66	12	21	22
DA1	1.5 – 2.0	55	22	33	0	31	43	26	28
DA2	3.0 – 3.5	50	20	30	0	27	57	16	28
DA3	4.0 – 4.5	46	18	28	0	34	48	18	38
DB1	1.5 – 2.0	53	22	31	1	32	23	44	39
DB2	3.0 – 3.5	52	21	31	2	24	33	41	43
DB3	4.0 – 4.5	50	21	29	0	23	54	23	46

Jadual 5.38a: Jadual Korelasi di Bahagian Timur Semenanjung Malaysia

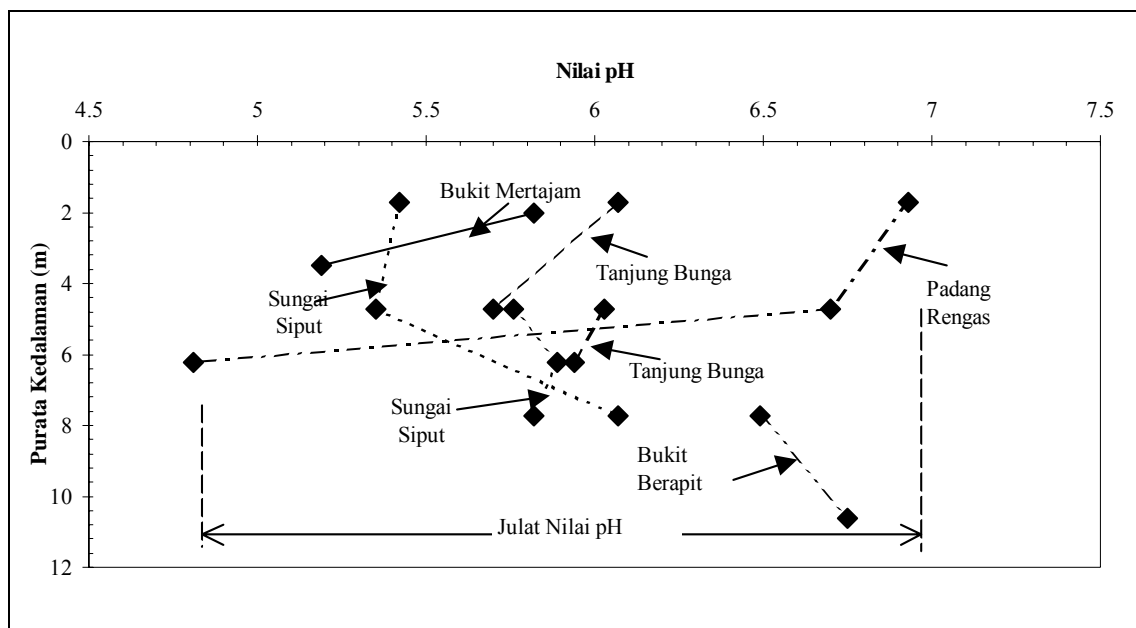
Korelasi	Persamaan Korelasi	Pekali Penentuan, R^2	<i>Standard Error</i>
Mineralogi dengan Indeks Keplastikan, PI	$PI = 81.4 - 0.86(SiO_2) \text{ atau}$ $SiO_2 = \frac{81.4 - PI}{0.86}(\%)$	0.85	4.08
	$PI = 1.78(Al_2O_3) - 7.12 \text{ atau}$ $Al_2O_3 = \frac{PI + 7.12}{1.78}(\%)$	0.85	4.11
	$PI = 2.39(Fe_2O_3) + 16 \text{ atau}$ $Fe_2O_3 = \frac{PI - 16}{2.39}(\%)$	0.82	3.59
Mineralogi dengan Had Plastik, PL	$PL = 46.90 - 0.44(SiO_2) \text{ atau}$ $SiO_2 = \frac{46.90 - PL}{0.44}(\%)$	0.74	2.94
	$PL = 0.82(Al_2O_3) + 3.82 \text{ atau}$ $Al_2O_3 = \frac{PL - 3.82}{0.82}(\%)$	0.59	3.69
	$PL = 1.31(Fe_2O_3) + 12.55$ <p style="text-align: center;">atau</p> $Fe_2O_3 = \frac{PL - 12.55}{1.31}(\%)$	0.82	2.49
	$PL = 13.64(TiO_2) + 8.89 \text{ atau}$ $TiO_2 = \frac{PL - 8.89}{13.64}(\%)$	0.73	3.01
Mineralogi dengan Had Cecair, LL	$LL = 128.3 - 1.31(SiO_2) \text{ atau}$ $SiO_2 = \frac{128.3 - LL}{1.31}(\%)$	0.88	5.41
	$LL = 2.60(Al_2O_3) - 3.30 \text{ atau}$ $Al_2O_3 = \frac{LL + 3.30}{2.60}(\%)$	0.82	6.69

Jadual 5.38b: Jadual Korelasi di Bahagian Timur Semenanjung Malaysia
(samb.)

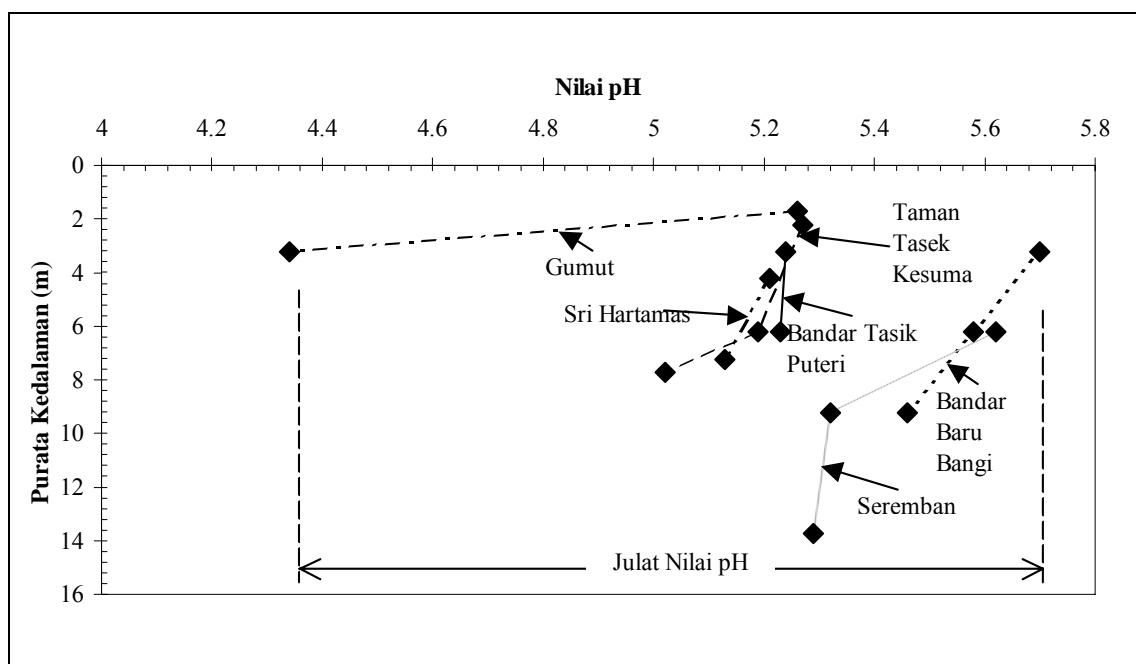
Korelasi	Persamaan Korelasi	Pekali Penentuan, R^2	Standard Error
Mineralogi dengan Had Cecair, LL	$LL = 3.71(Fe_2O_3) + 28.55 \text{ atau } Fe_2O_3 = \frac{LL - 28.55}{3.71}(\%)$	0.89	5.27
	$LL = 36.36(TiO_2) + 20.61 \text{ atau } TiO_2 = \frac{PL - 8.89}{13.64}(\%)$	0.71	8.44
Mineralogi dengan Kandungan Lembapan, MC	$MC = 63.94 - 1.34(Al_2O_3) \text{ atau } Al_2O_3 = \frac{63.94 - MC}{1.34}(\%)$	0.50	7.89
	$MC = 50.46 - 2.23(Fe_2O_3) \text{ atau } Fe_2O_3 = \frac{50.46 - MC}{2.23}(\%)$	0.68	6.05
Korelasi Mineralogi dengan LOI	$Al_2O_3 = 1.41(LOI) + 9.29$	0.89	1.78
	$Fe_2O_3 = 1.05(LOI) - 2.81$	0.93	1.02
Korelasi Mineralogi dengan KPK	$KPK = 0.42 - 0.004(SiO_2) \text{ atau } SiO_2 = \frac{0.42 - KPK}{0.004}(\%)$	0.96	0.01
	$KPK = 0.0085(Al_2O_3) + 0.0065 \text{ atau } Al_2O_3 = \frac{KPK - 0.0065}{0.0085}(\%)$	0.9995	0.001

Jadual 5.38c: Jadual Korelasi di Bahagian Timur Semenanjung Malaysia
(samb.)

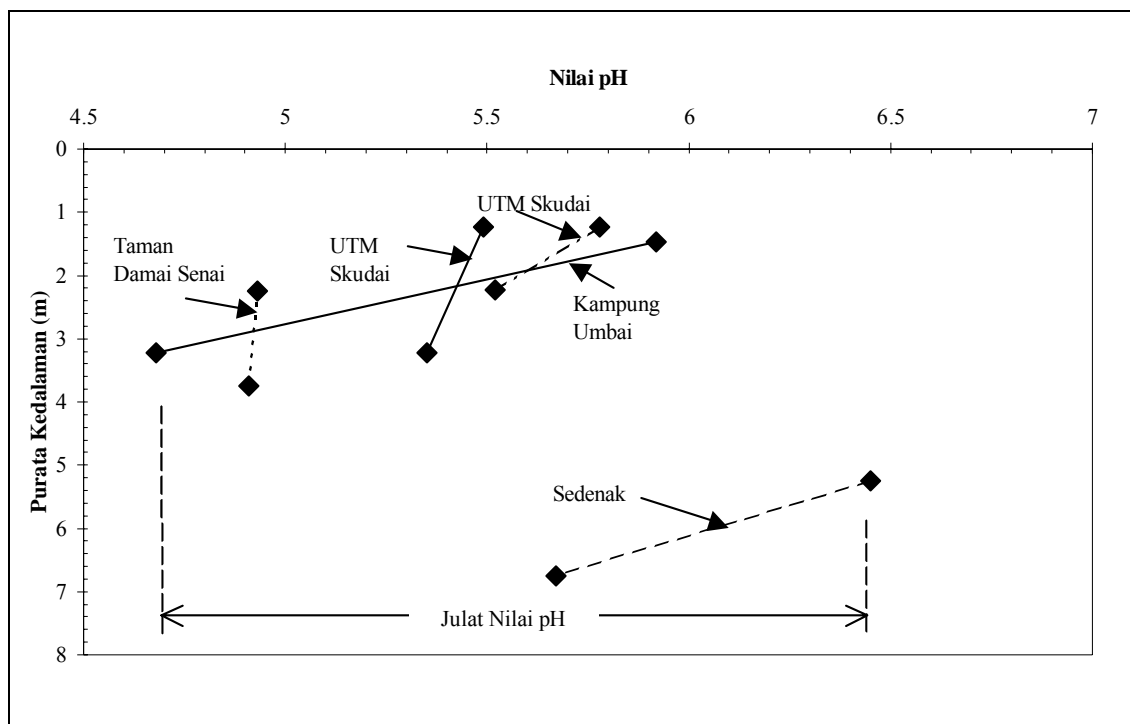
Korelasi	Persamaan Korelasi	Pekali Penentuan, R^2	Standard Error
Korelasi Mineralogi dengan KPK	$\text{KPK} = 0.01\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.13$ atau $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\text{KPK} - 0.13}{0.01}(\%)$	0.79	0.02
	$\text{KPK} = 0.11(\text{TiO}_2) + 0.09$ atau $\text{TiO}_2 = \frac{\text{KPK} - 0.09}{0.11}(\%)$	0.75	0.02
Korelasi Nilai pH dengan Kepekatan Kation	$\text{K}^+ = 414.58\text{pH} - 1980.9$ atau $\text{pH} = \frac{\text{K}^+ + 1980.9}{414.58}$	0.80	120.02
	$\text{Na}^+ = 14.98\text{pH} - 41.69$ atau $\text{pH} = \frac{\text{Na}^+ + 41.69}{14.98}$	0.50	9.68
	$\text{Mg}^{2+} = 319.17\text{pH} - 1502.5$ atau $\text{pH} = \frac{\text{Mg}^{2+} + 1502.5}{319.17}$	0.70	121.30
	$\text{Ca}^{2+} = 6.13\text{pH} - 27.17$ atau $\text{pH} = \frac{\text{Ca}^{2+} + 27.17}{6.13}$	0.71	2.27
Korelasi KPK dengan Nilai pH	$\text{KPK} = 7.56\text{pH} - 36.46$	0.71	0.03



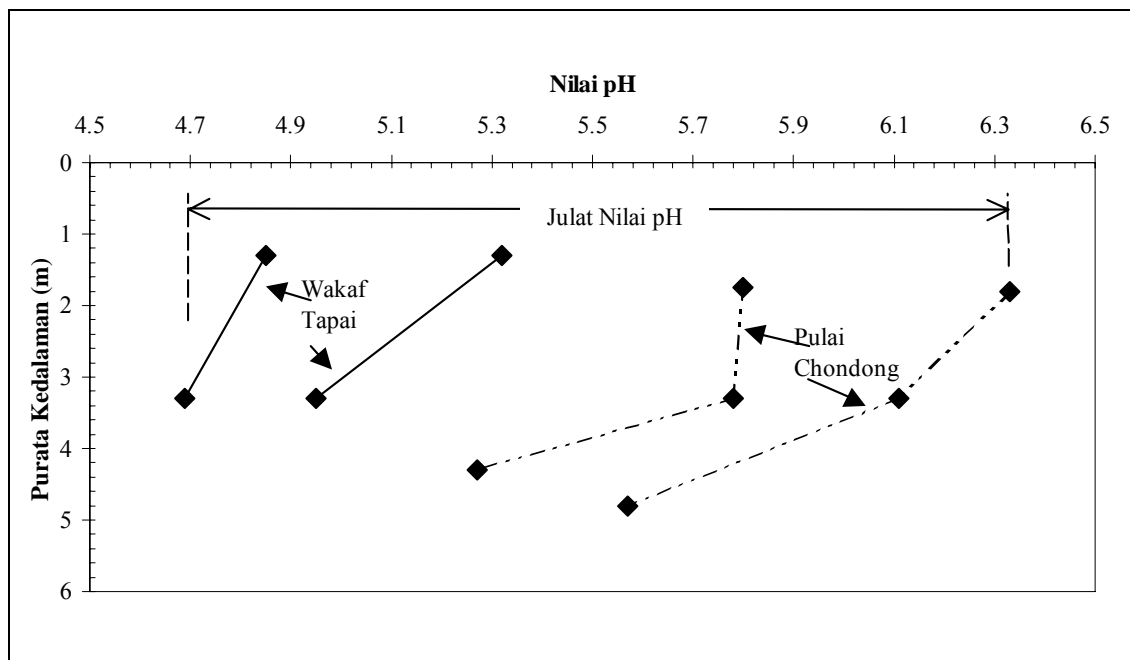
Rajah 5.27: Korelasi Nilai pH dengan Kedalaman di bahagian Utara



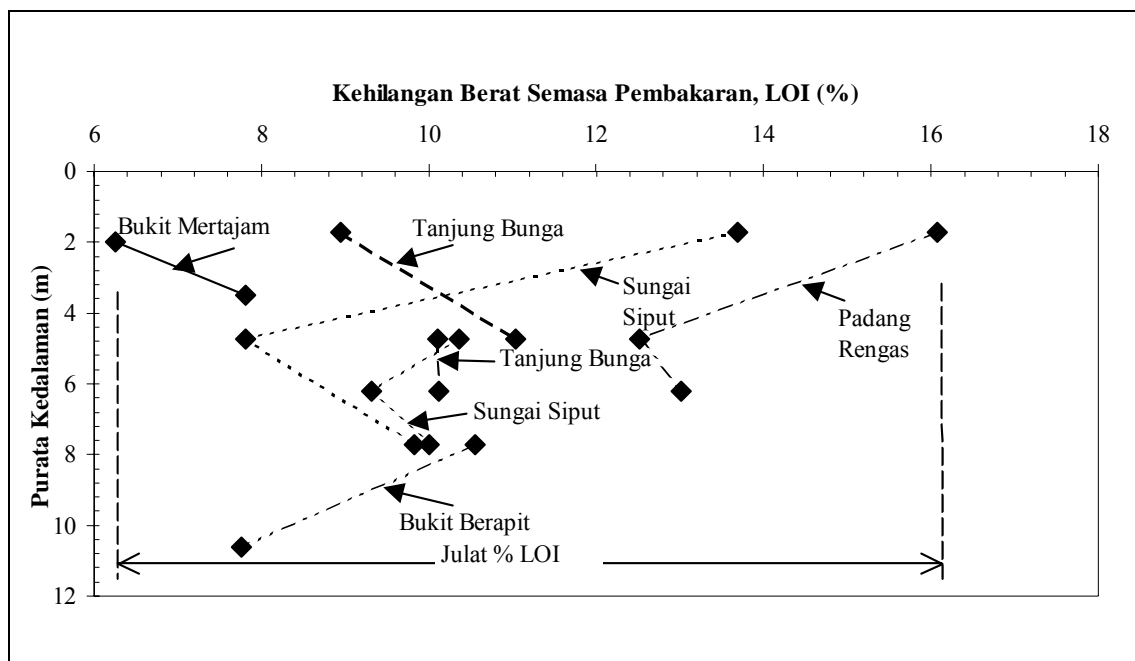
Rajah 5.28: Korelasi Nilai pH dengan Kedalaman di bahagian Tengah



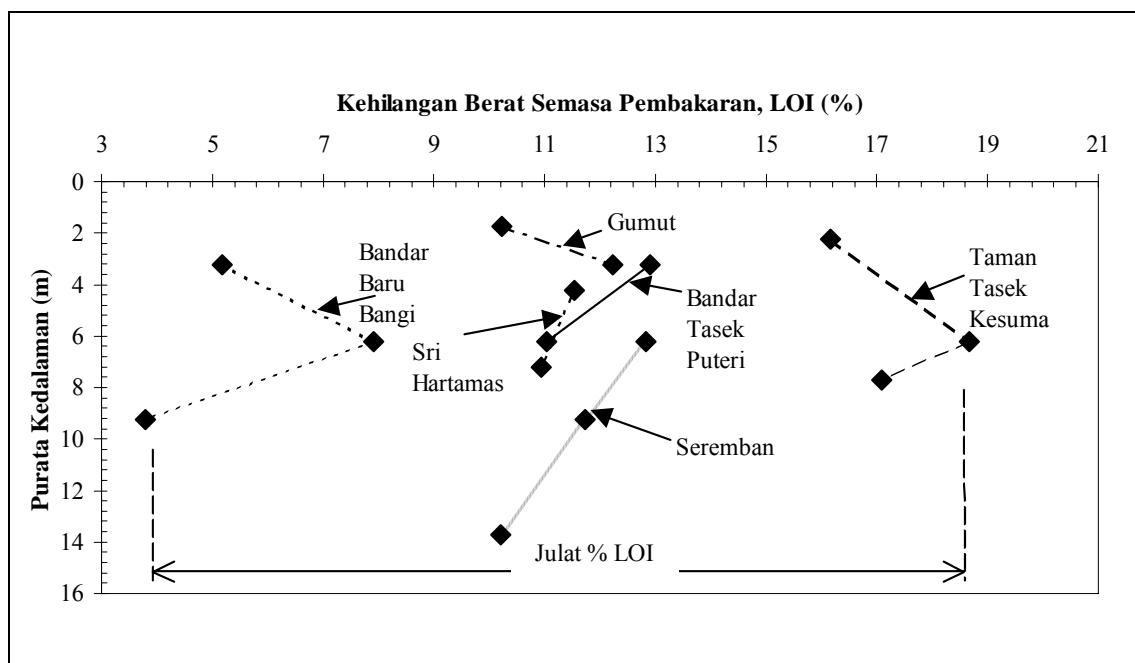
Rajah 5.29: Korelasi Nilai pH dengan Kedalaman di bahagian Selatan



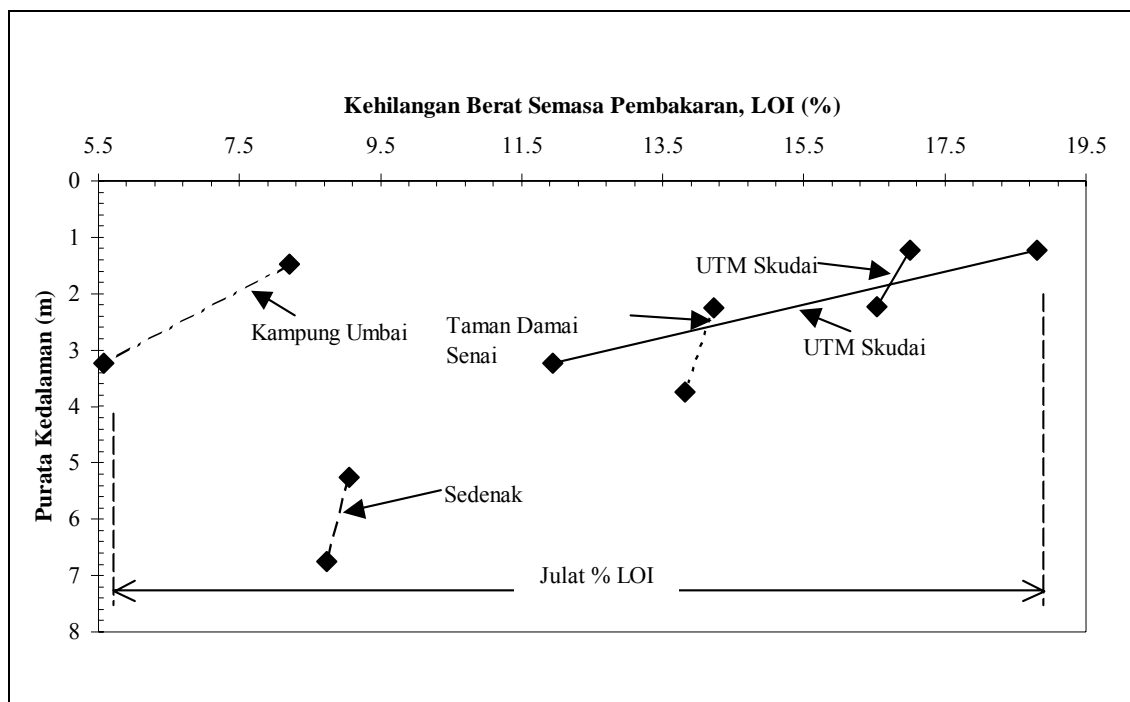
Rajah 5.30: Korelasi Nilai pH dengan Kedalaman di bahagian Timur



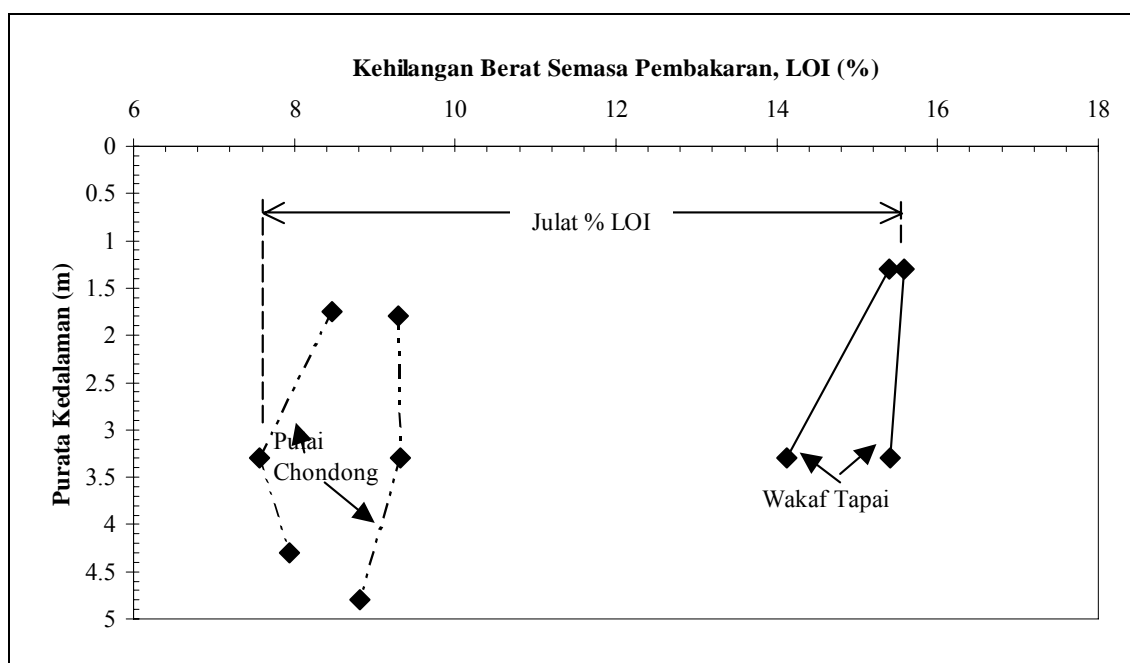
Rajah 5.31: Korelasi % LOI dengan Kedalaman di bahagian Utara



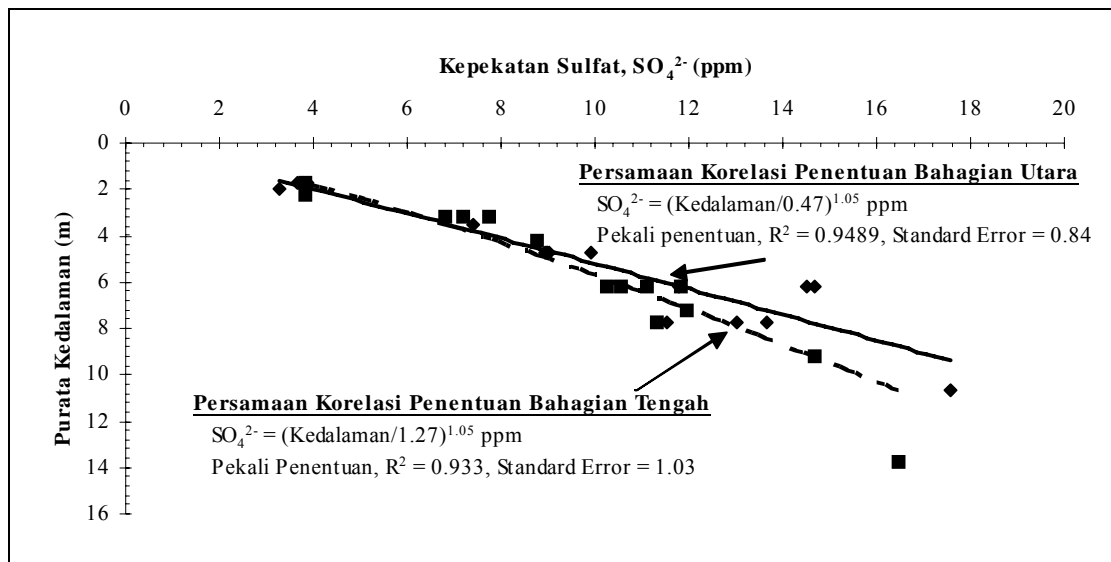
Rajah 5.32: Korelasi % LOI dengan Kedalaman di bahagian Tengah



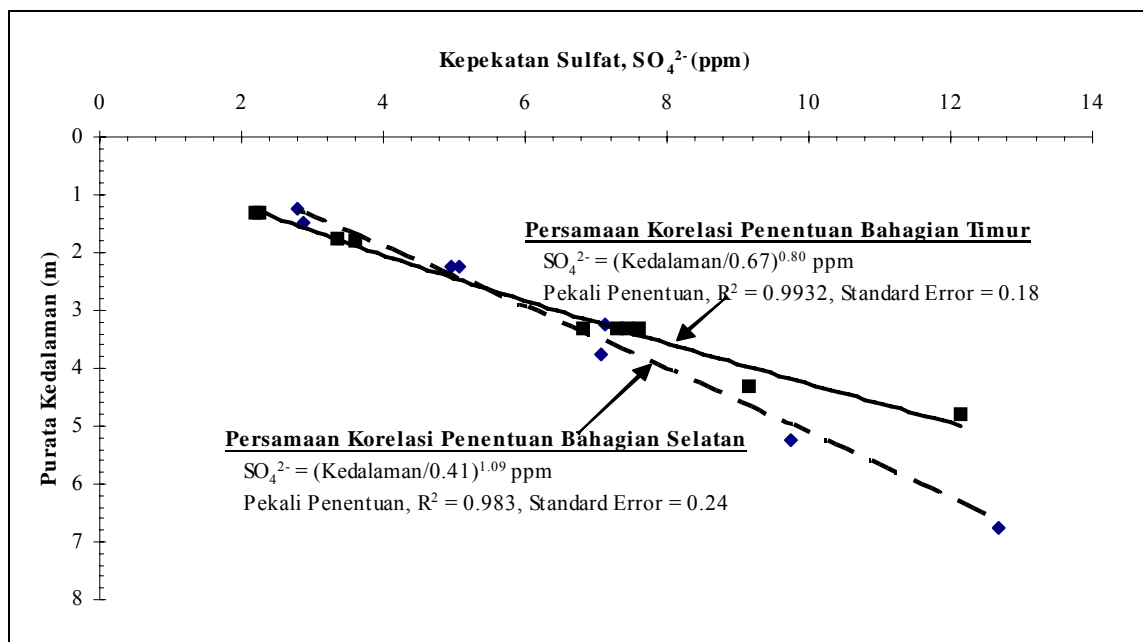
Rajah 5.33: Korelasi % LOI dengan Kedalaman di bahagian Selatan



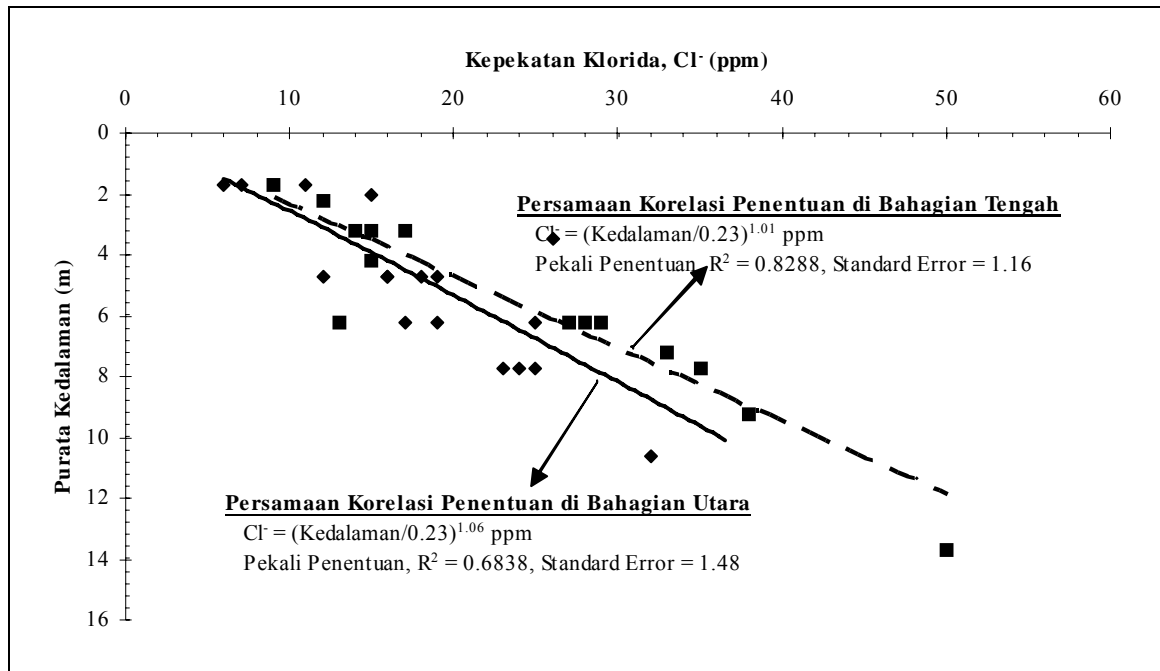
Rajah 5.34: Korelasi % LOI dengan Kedalaman di bahagian Timur



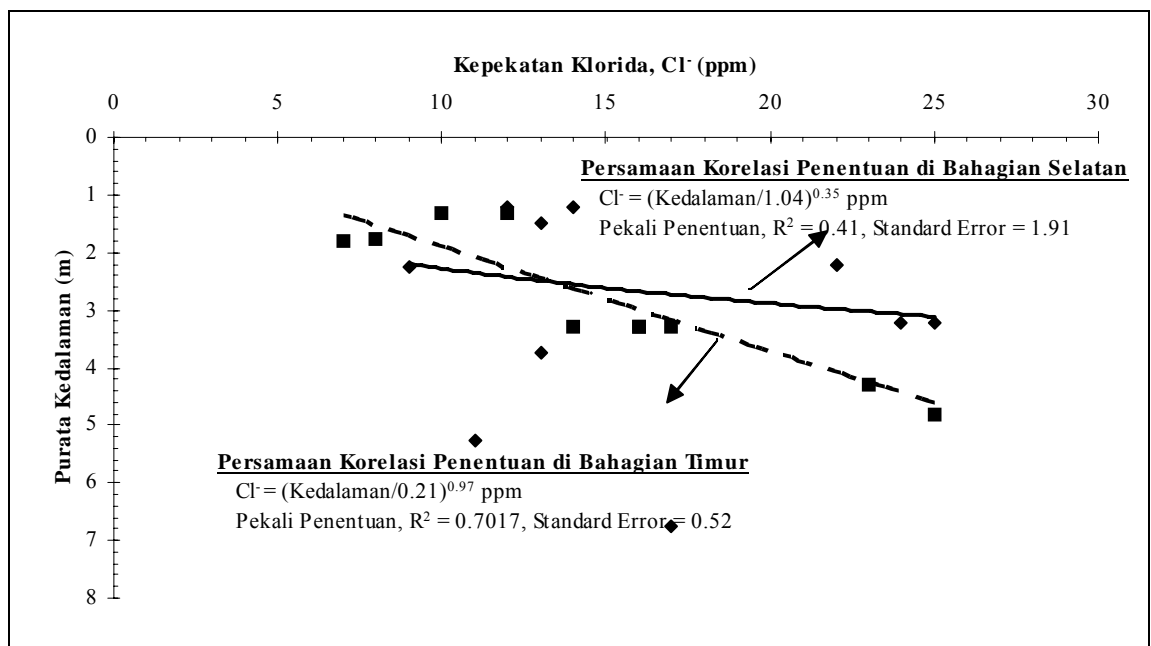
Rajah 5.35: Korelasi Kepekatan Sulfat dengan Kedalaman di bahagian Utara dan Tengah



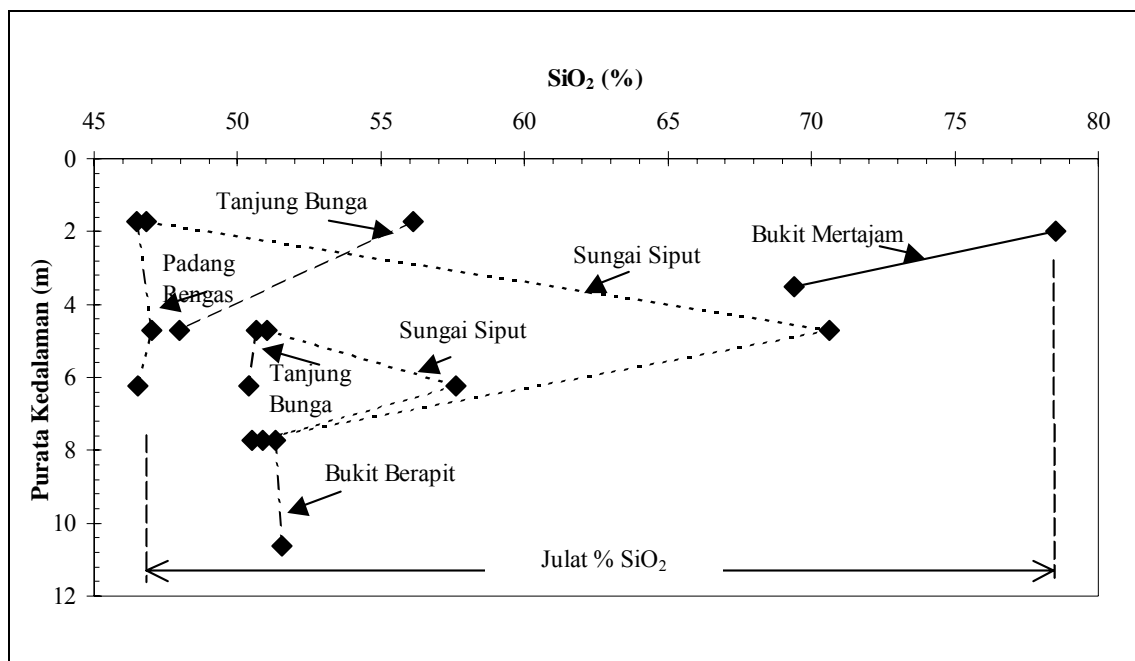
Rajah 5.36: Korelasi Kepekatan Sulfat dengan Kedalaman di bahagian Selatan dan Timur



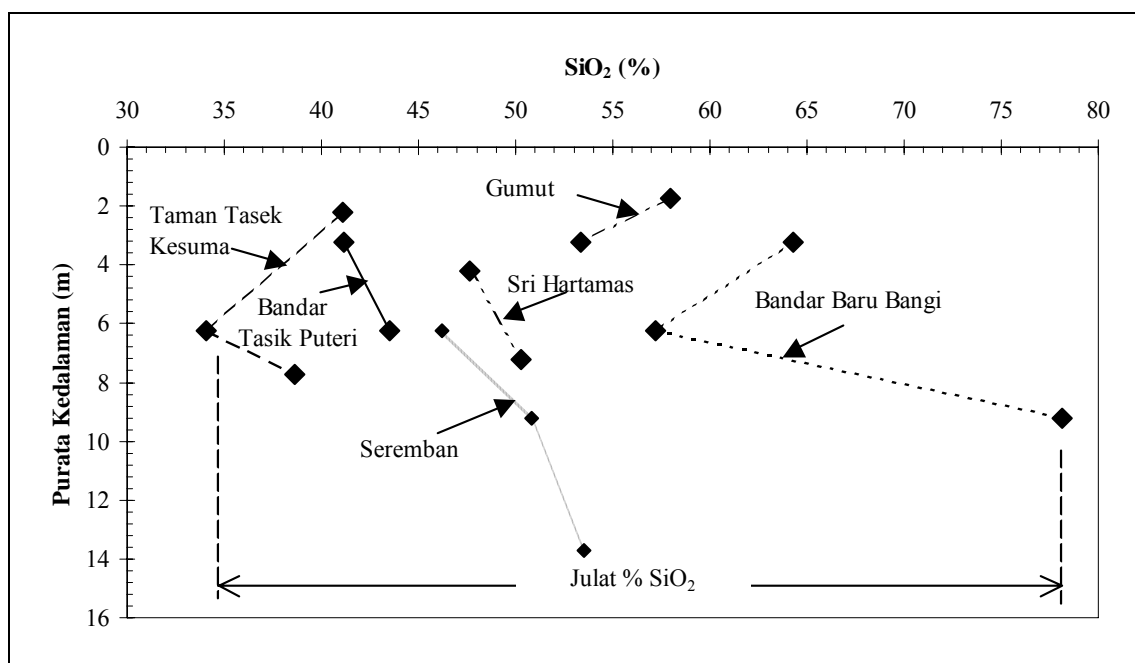
Rajah 5.37: Korelasi Kepekatan Klorida dengan Kedalaman di bahagian Utara dan Tengah



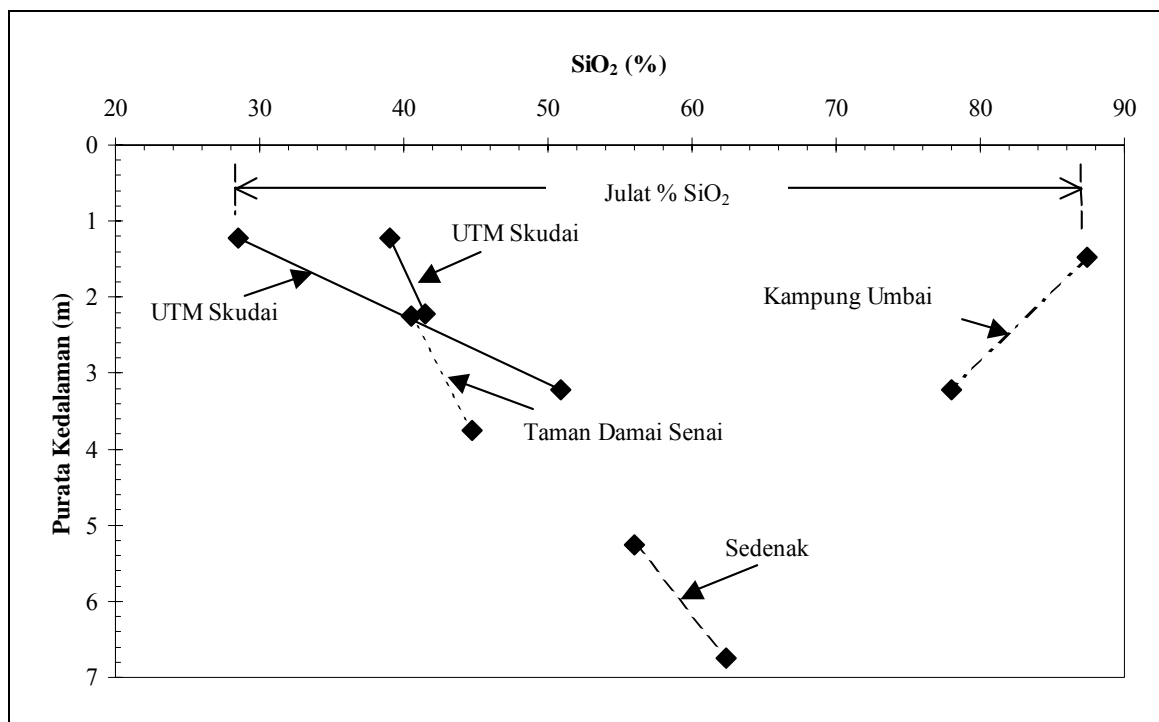
Rajah 5.38: Korelasi Kepekatan Klorida dengan Kedalaman di bahagian Selatan dan Timur



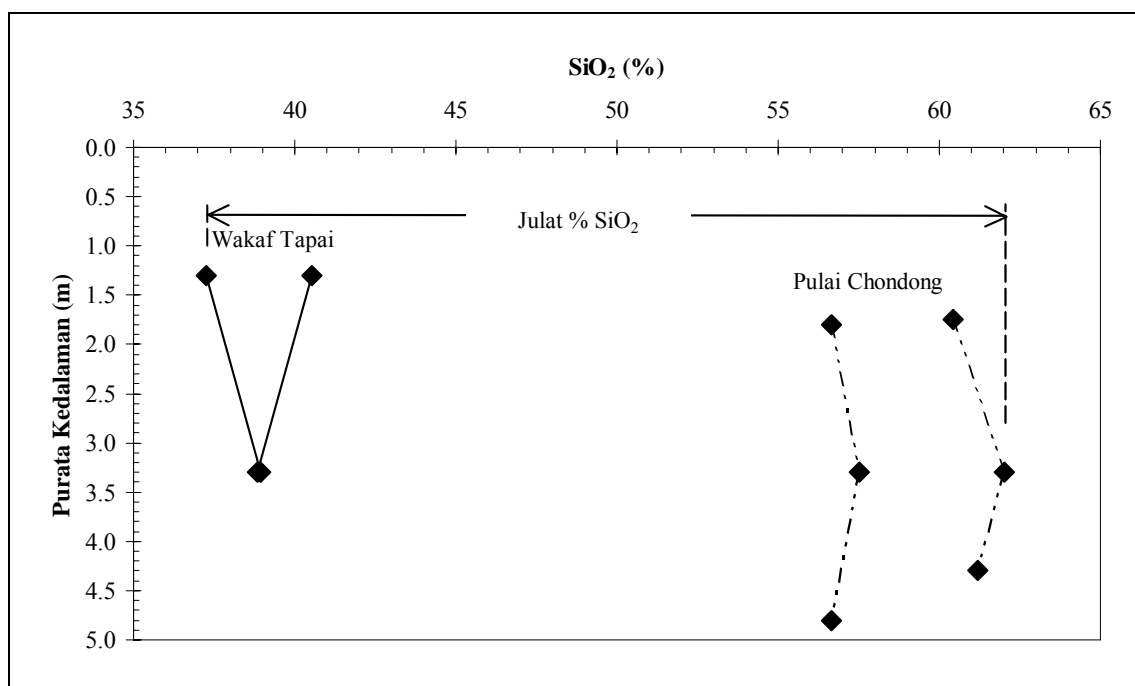
Rajah 5.39: Korelasi % SiO_2 dengan Kedalaman di bahagian Utara



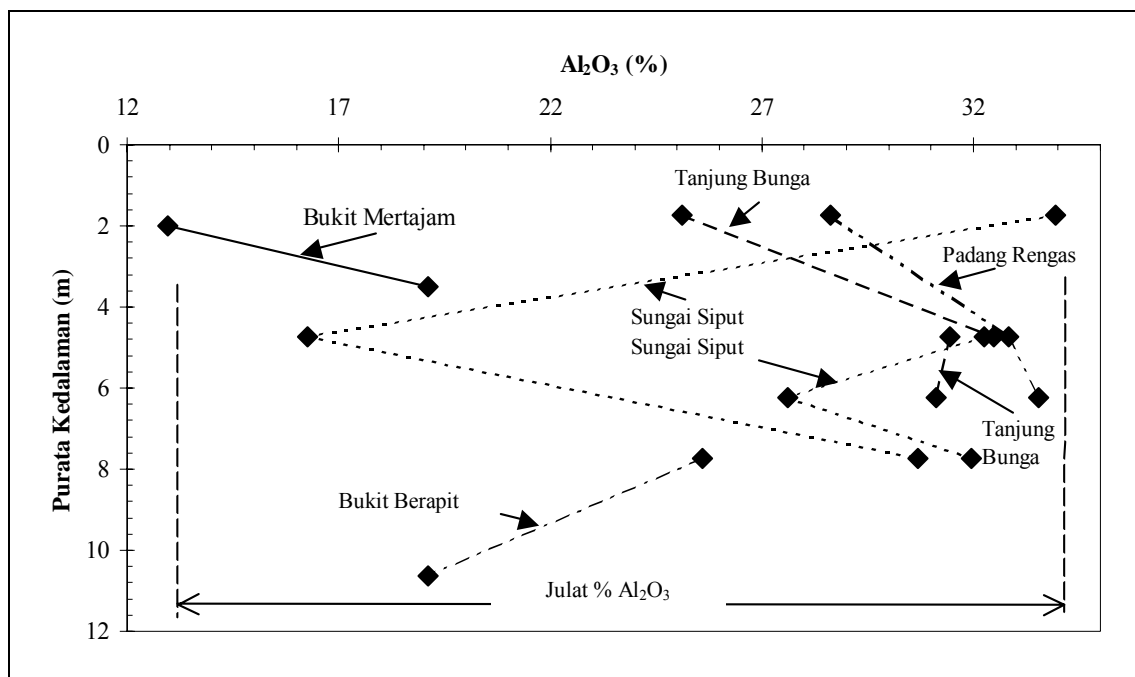
Rajah 5.40: Korelasi % SiO_2 dengan Kedalaman di bahagian Tengah



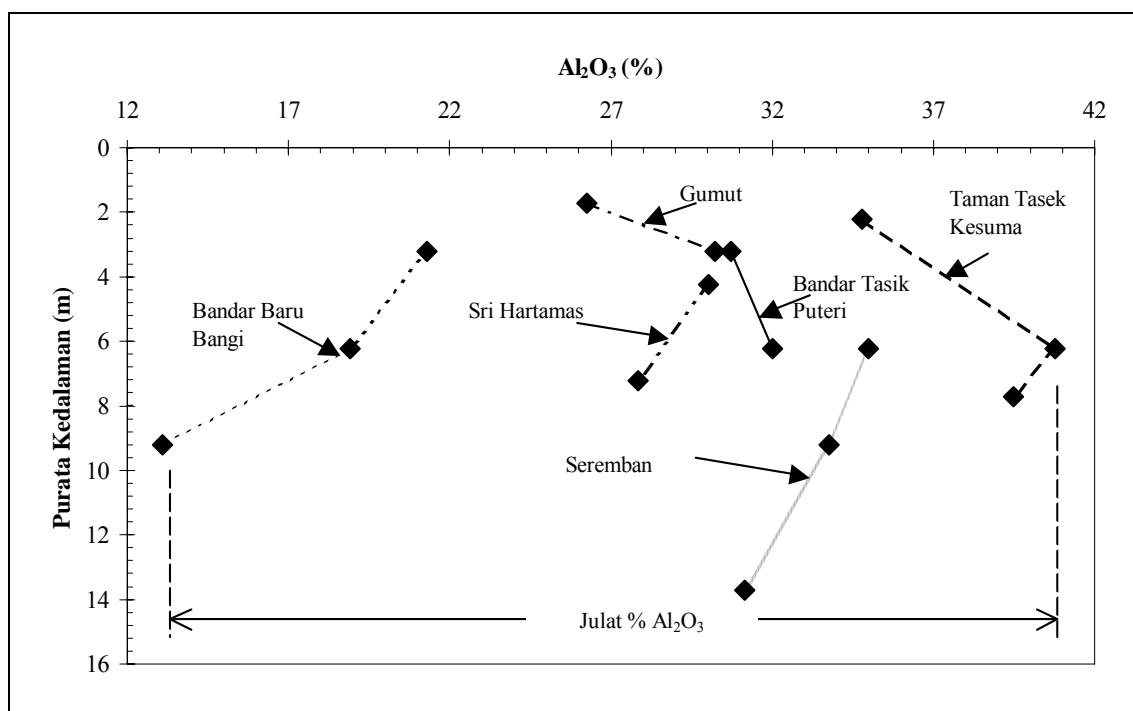
Rajah 5.41: Korelasi % SiO_2 dengan Kedalaman di bahagian Selatan



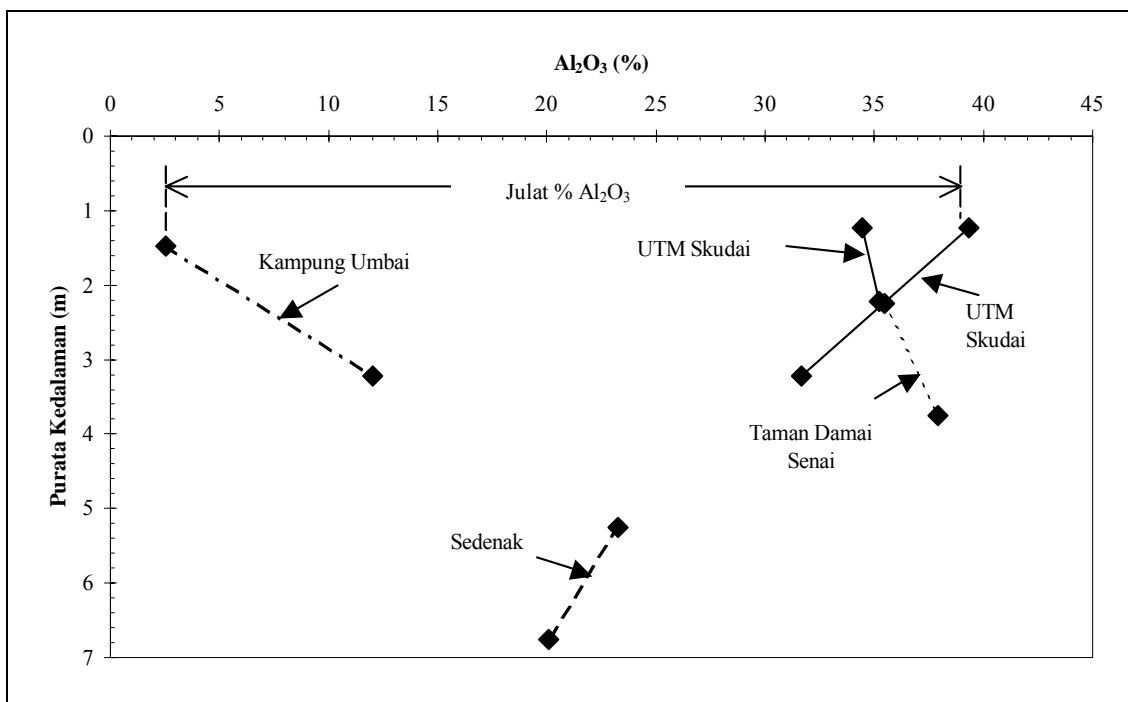
Rajah 5.42: Korelasi % SiO_2 dengan Kedalaman di bahagian Timur



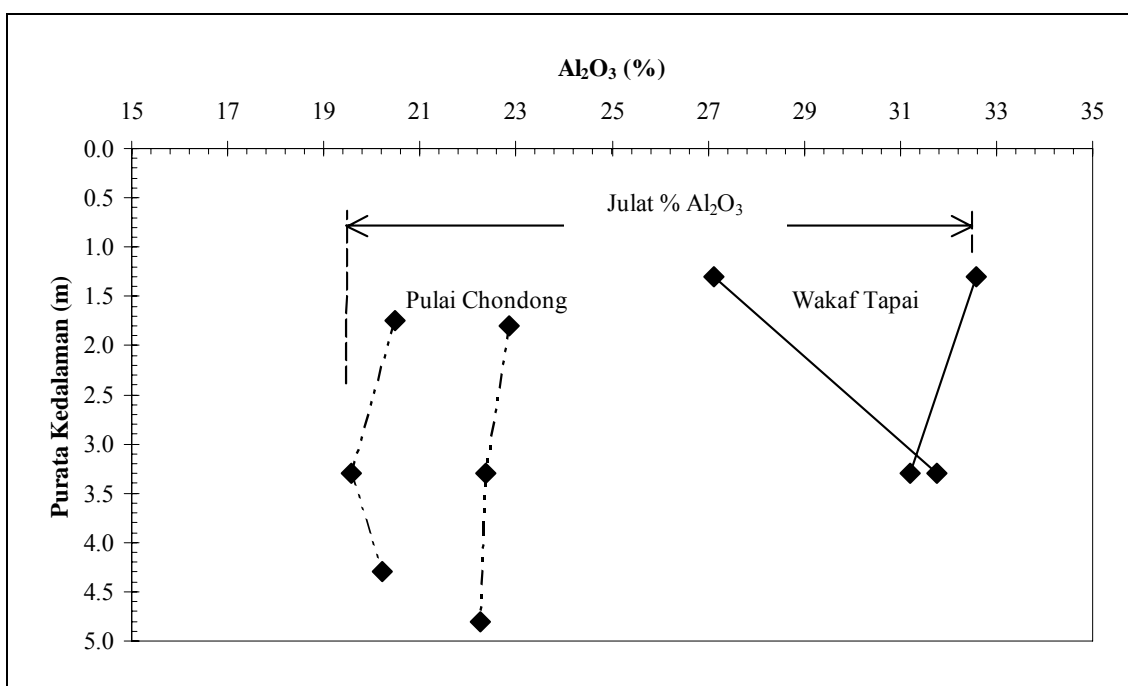
Rajah 5.43: Korelasi % Al_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Utara



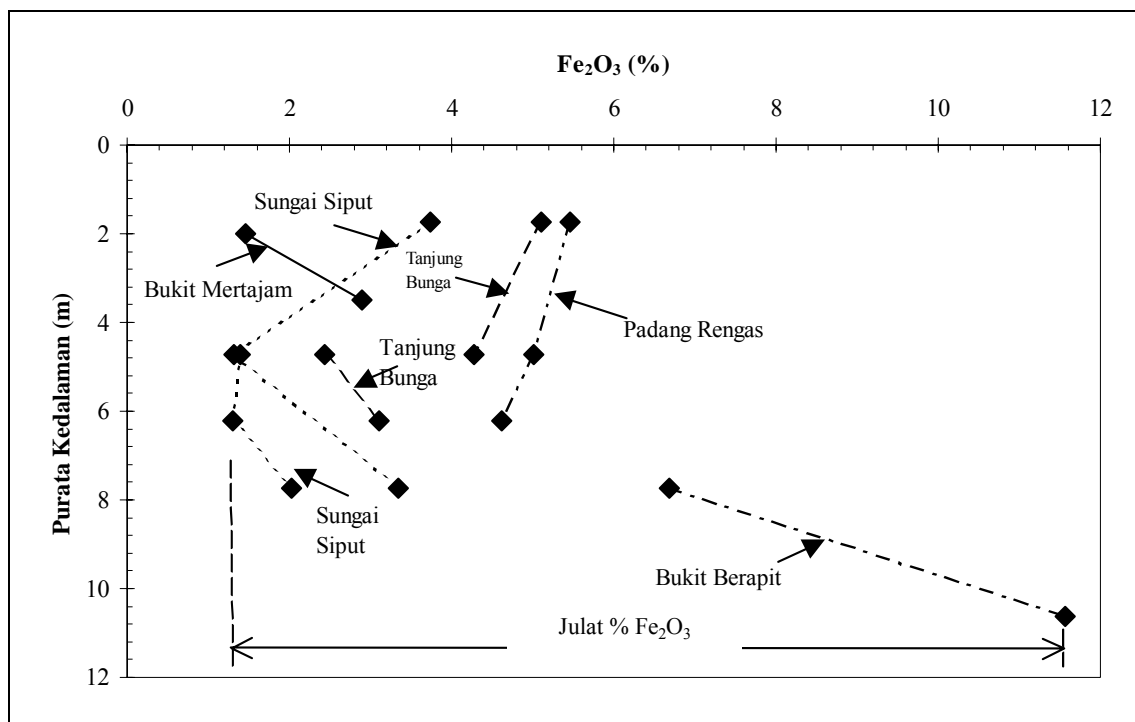
Rajah 5.44: Korelasi % Al_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Tengah



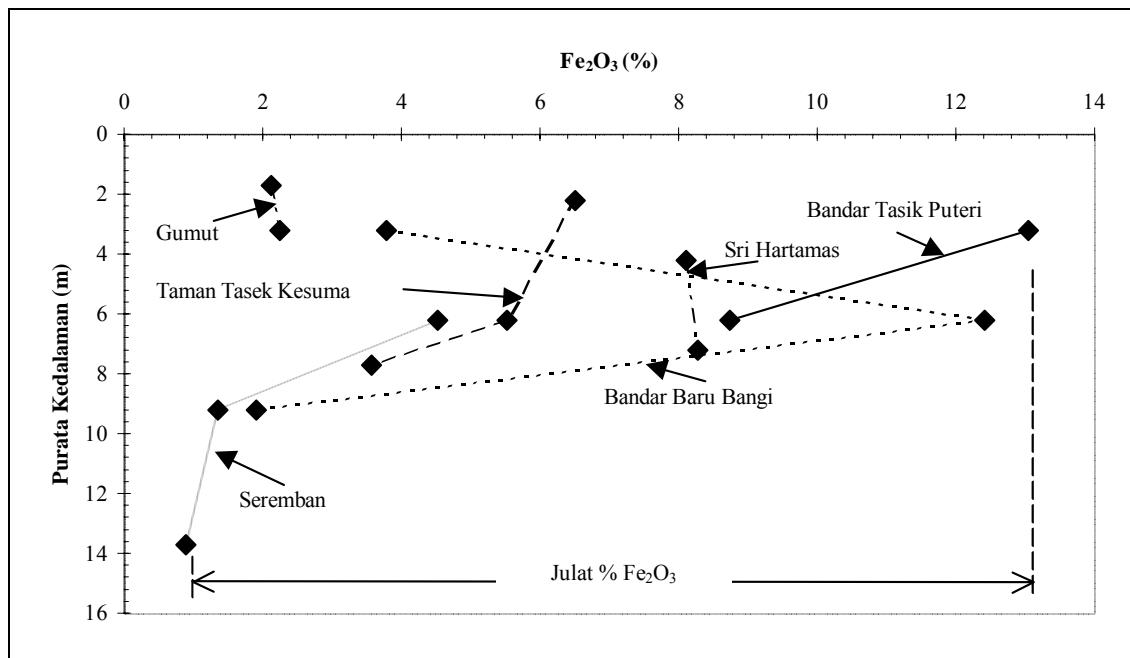
Rajah 5.45: Korelasi % Al_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Selatan



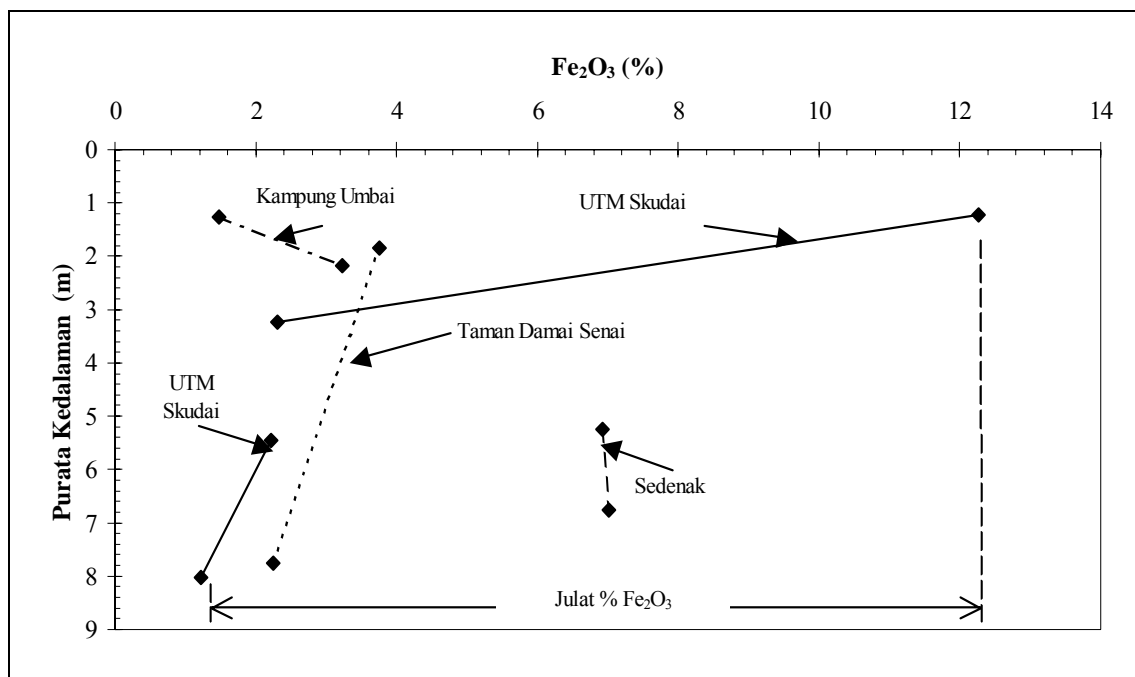
Rajah 5.46: Korelasi % Al_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Timur



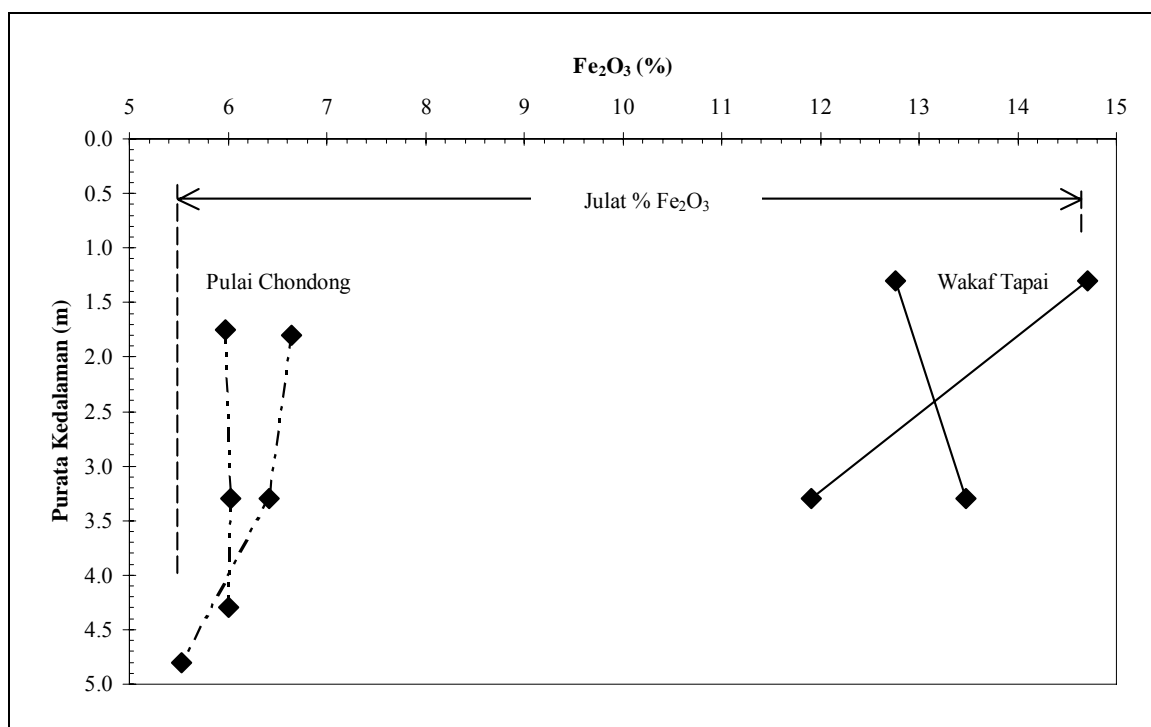
Rajah 5.47: Korelasi % Fe_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Utara



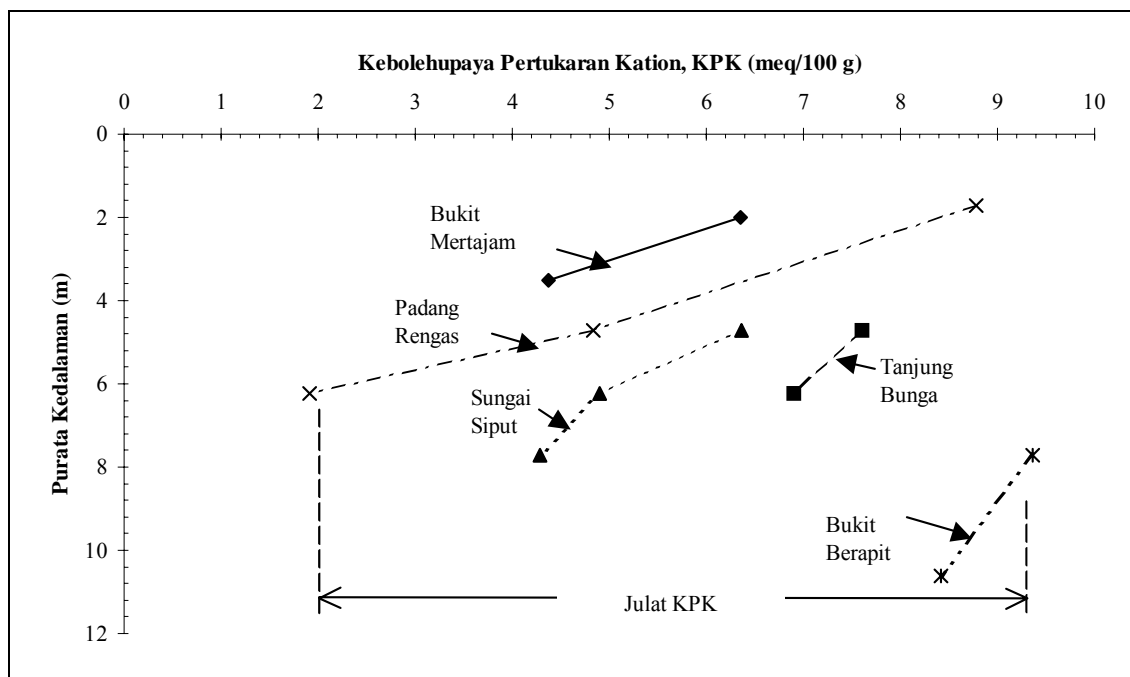
Rajah 5.48: Korelasi % Fe_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Tengah



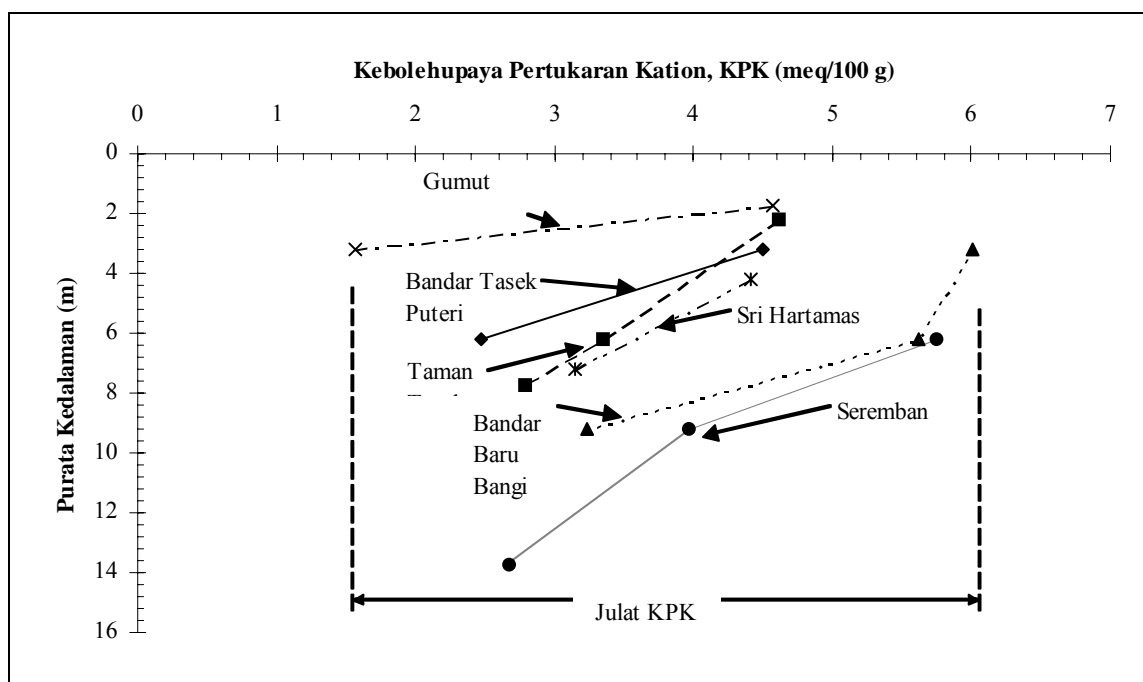
Rajah 5.49: Korelasi % Fe_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Selatan



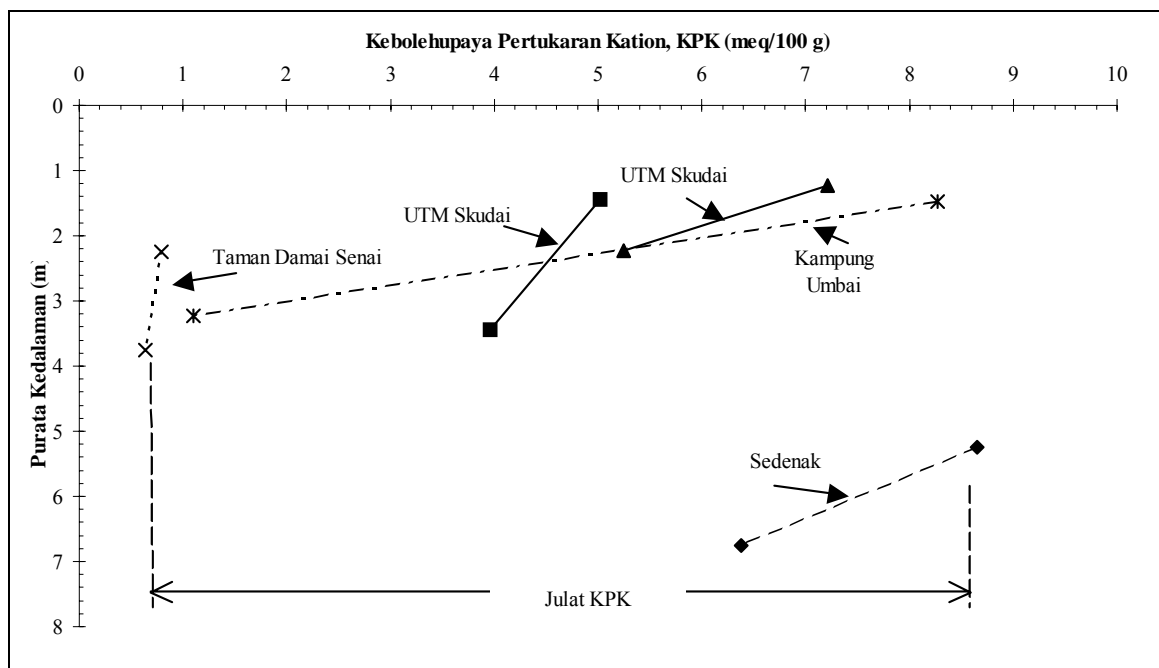
Rajah 5.50: Korelasi % Fe_2O_3 dengan Kedalaman di bahagian Timur



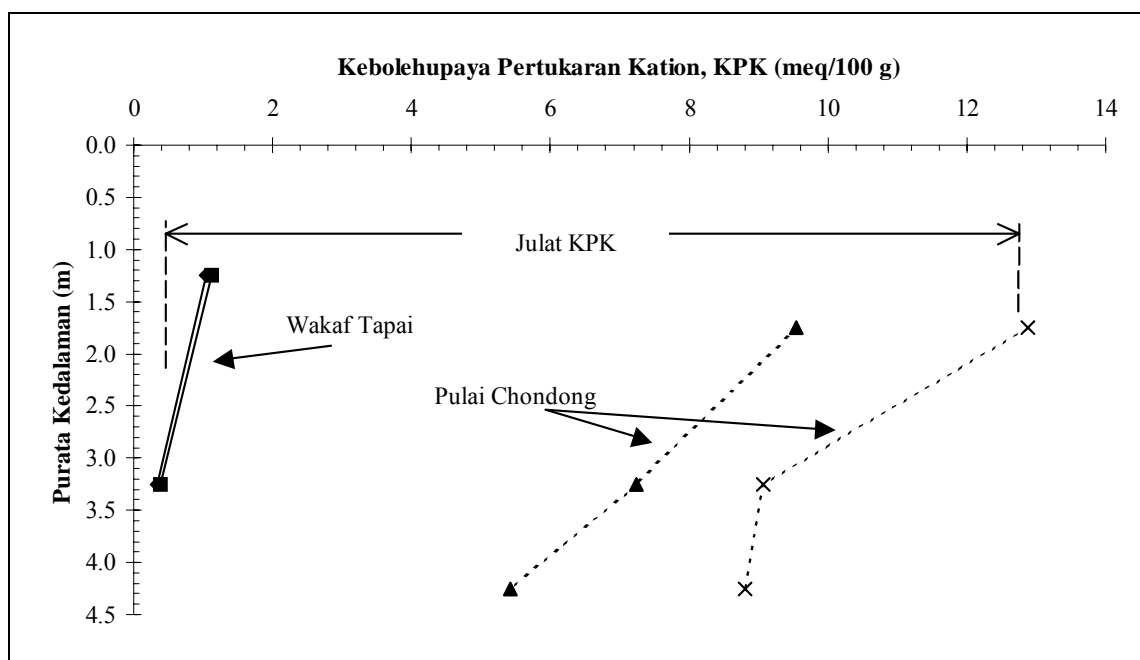
Rajah 5.51: Korelasi KPK dengan Kedalaman di bahagian Utara



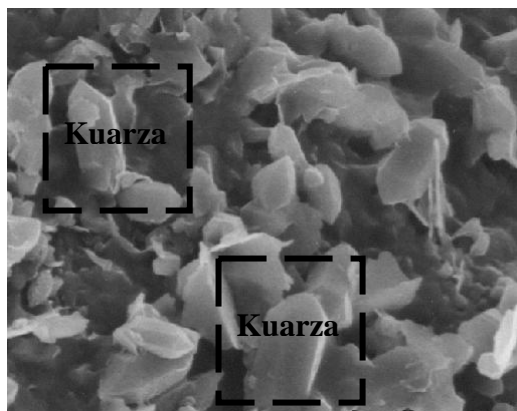
Rajah 5.52: Korelasi KPK dengan Kedalaman di bahagian Tengah



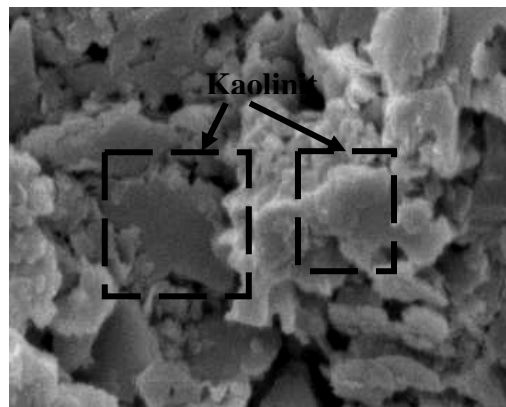
Rajah 5.53: Korelasi KPK dengan Kedalaman di bahagian Selatan



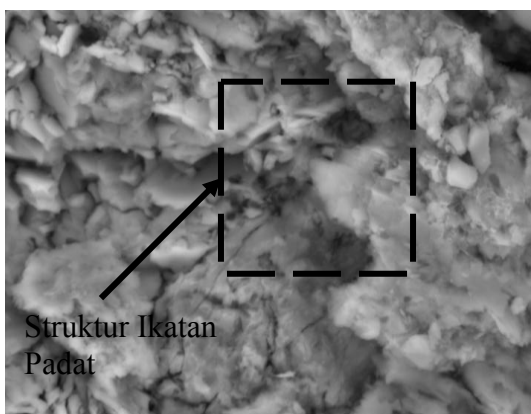
Rajah 5.54: Korelasi KPK dengan Kedalaman di bahagian Timur



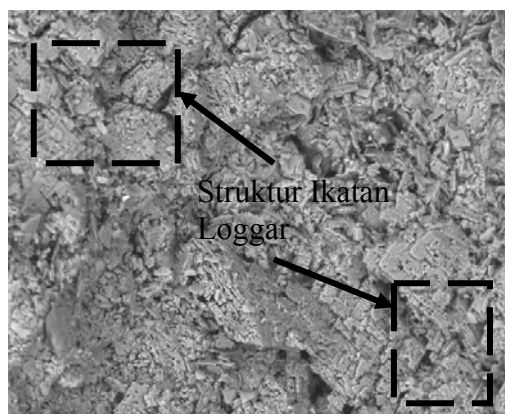
Rajah 5.55: Imej SEM bagi sampel PA1



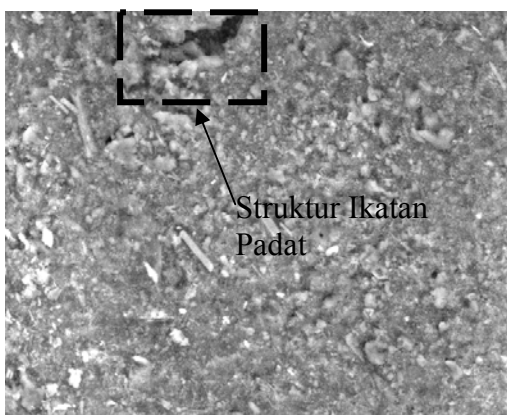
Rajah 5.56: Imej SEM bagi sampel PA2



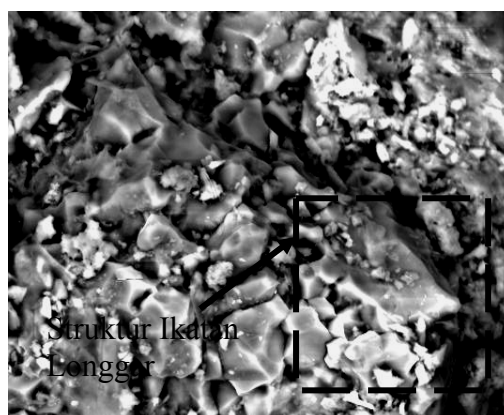
Rajah 5.57: Imej SEM bagi sampel AC1



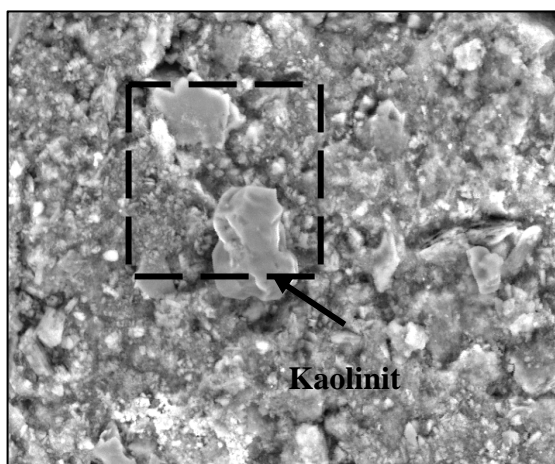
Rajah 5.58: Imej SEM bagi sampel AC2



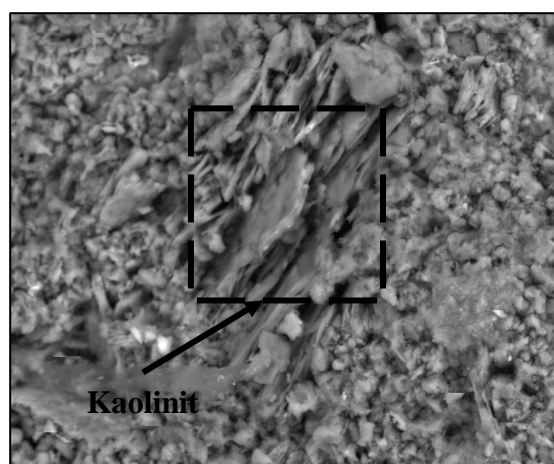
Rajah 5.59: Imej SEM bagi sampel PC1



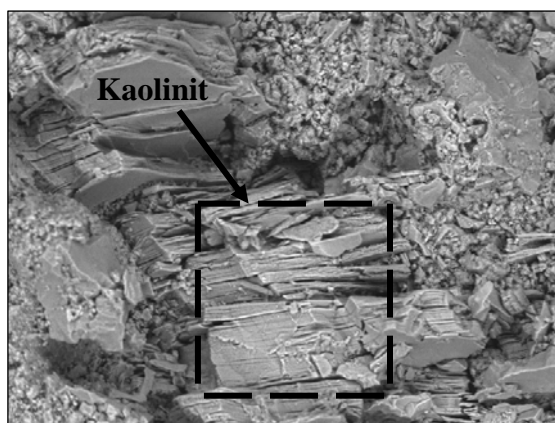
Rajah 5.60: Imej SEM bagi sampel PC2



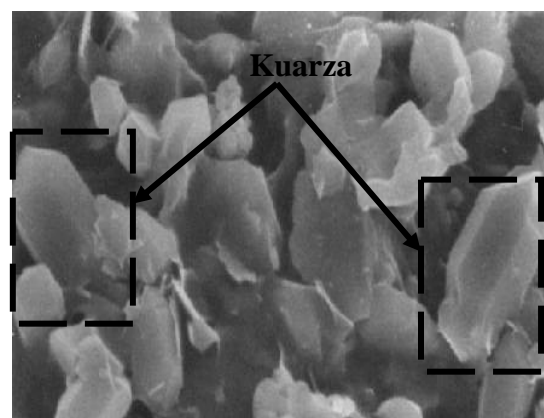
Rajah 5.61: Imej SEM bagi sampel NA1



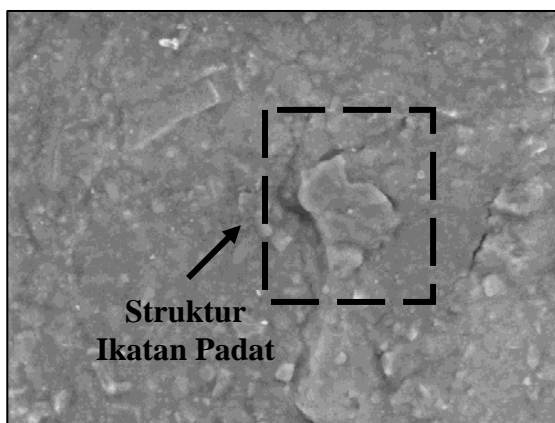
Rajah 5.62: Imej SEM bagi sampel NA2



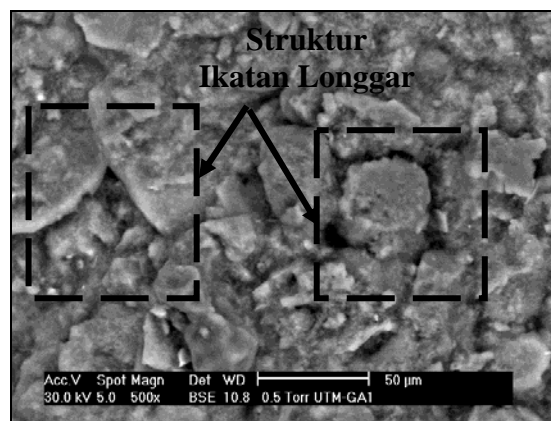
Rajah 5.63: Imej SEM bagi sampel NA3



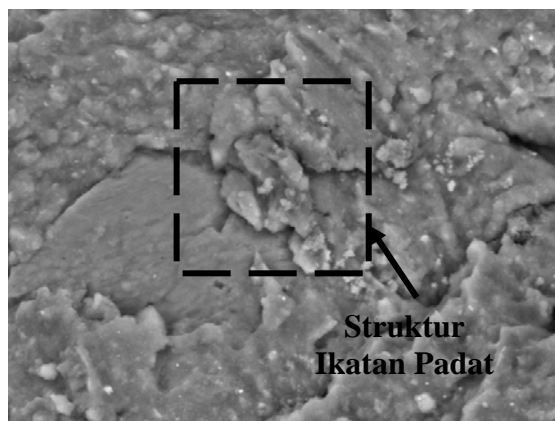
Rajah 5.64: Imej SEM bagi sampel KL1



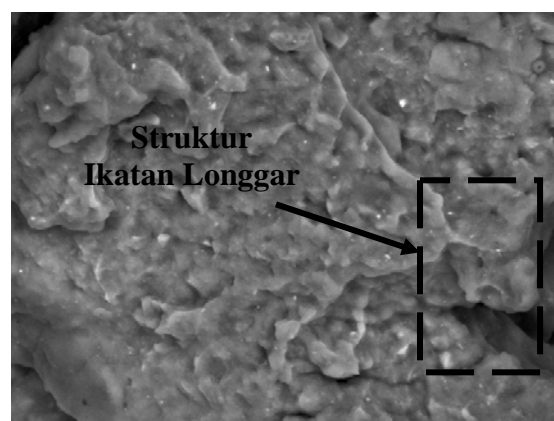
Rajah 5.65: Imej SEM bagi sampel GA1



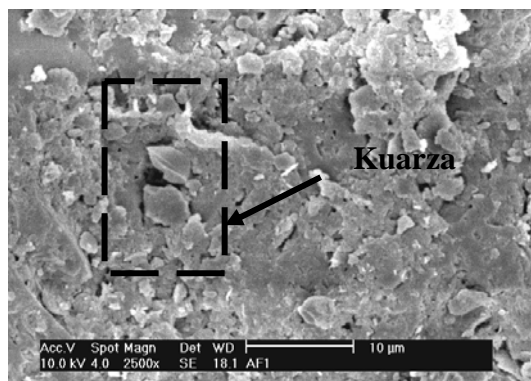
Rajah 5.66: Imej SEM bagi sampel GA2



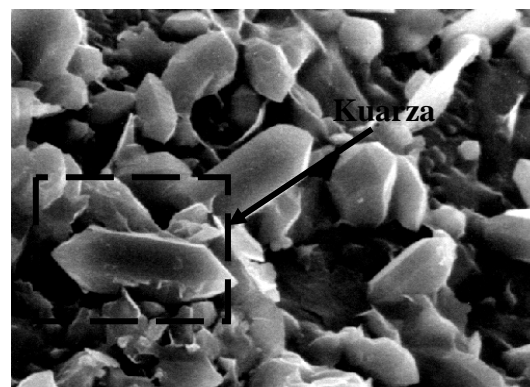
Rajah 5.67: Imej SEM bagi sampel BD1



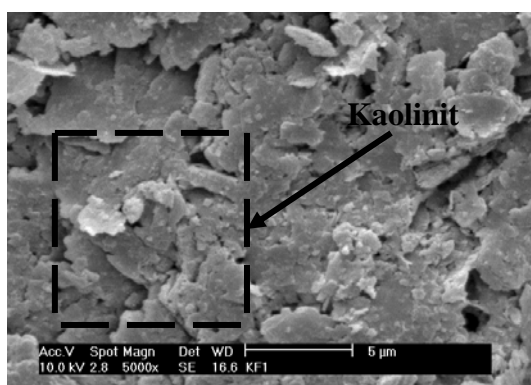
Rajah 5.68: Imej SEM bagi sampel BD2



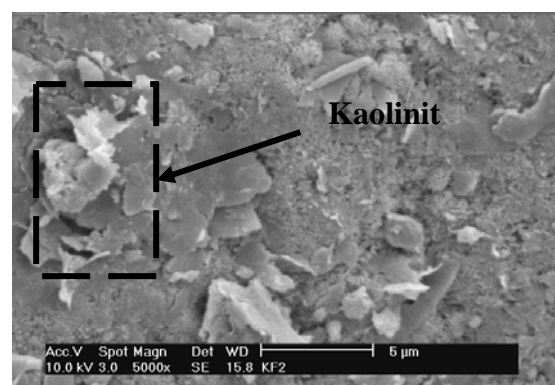
Rajah 5.69: Imej SEM bagi sampel AF1



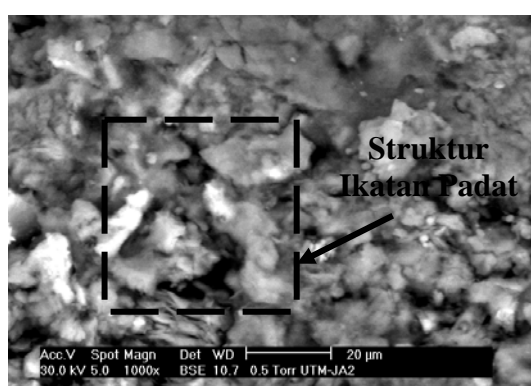
Rajah 5.70: Imej SEM bagi sampel AF2



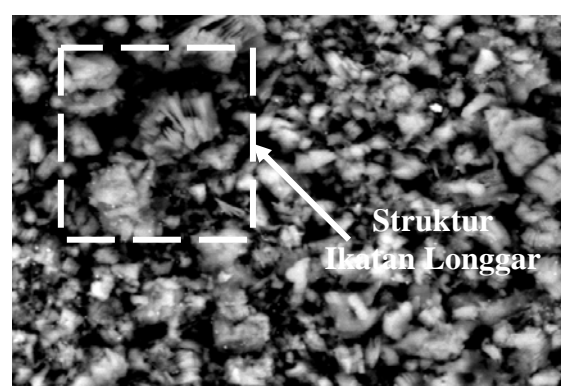
Rajah 5.71: Imej SEM bagi sampel KF1



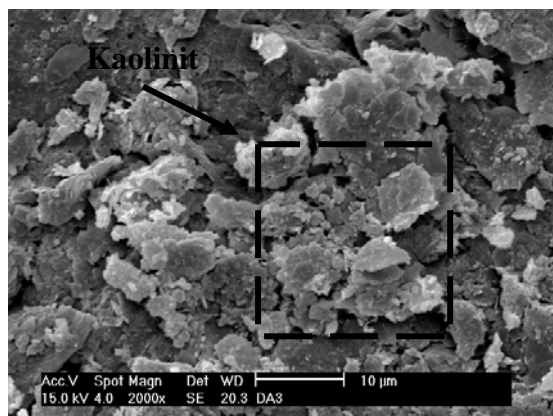
Rajah 5.72: Imej SEM bagi sampel KF2



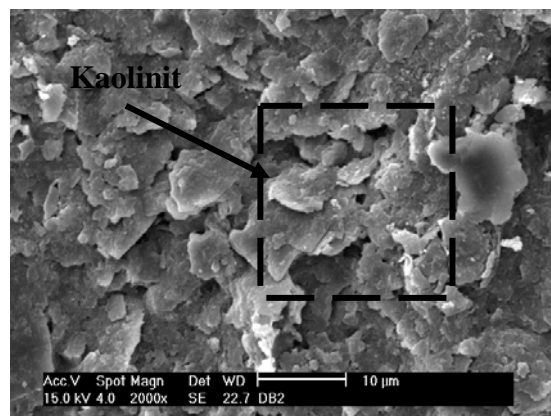
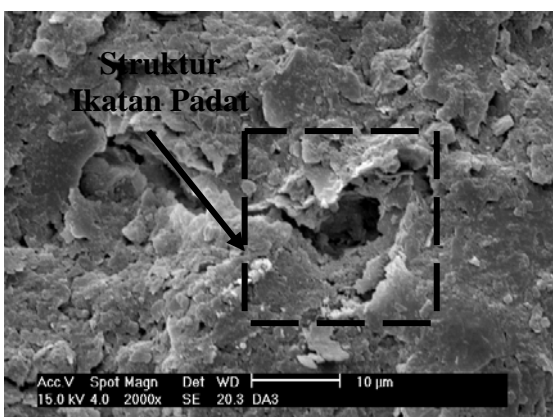
Rajah 5.73: Imej SEM bagi sampel JA2



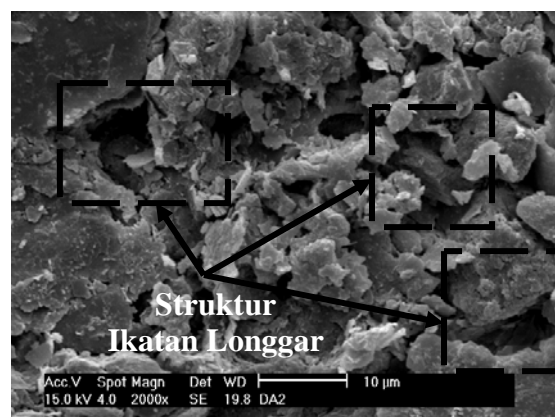
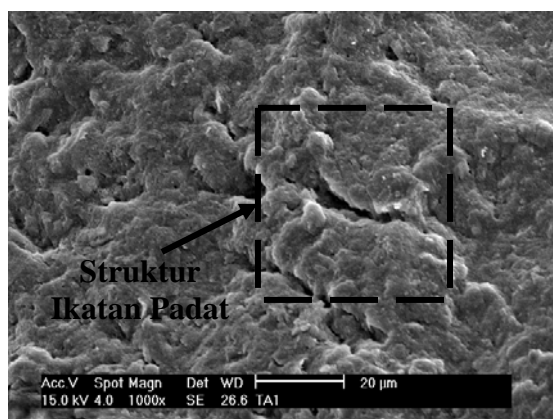
Rajah 5.74: Imej SEM bagi sampel JA3



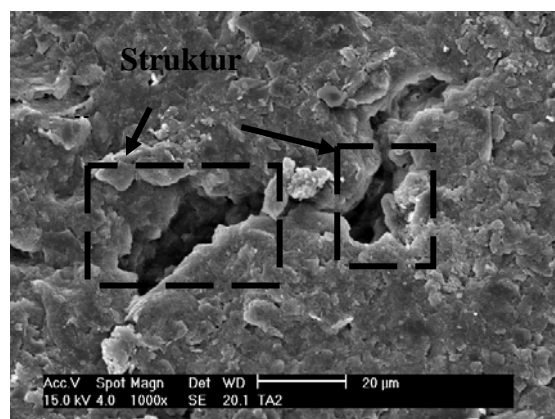
Rajah 5.75: Imej SEM bagi sampel DB2

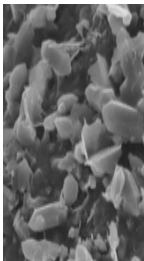
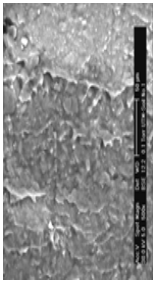
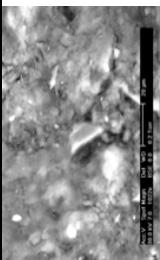
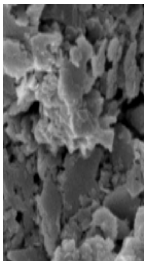
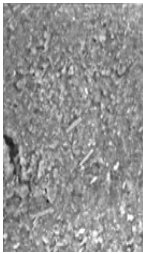
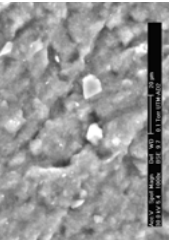
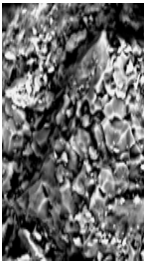
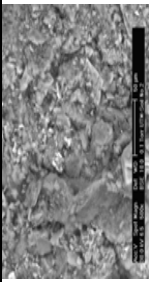
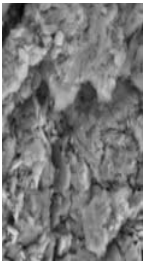
Rajah 5.76: Imej SEM bagi sampel
DB3

Rajah 5.77: Imej SEM bagi sampel DA2

Rajah 5.78: Imej SEM bagi sampel
DA3

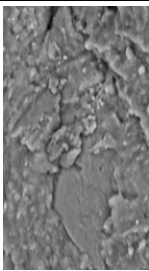
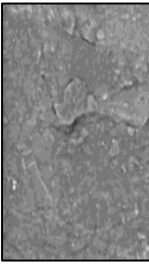
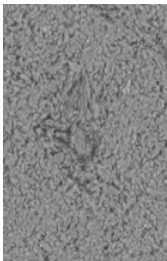
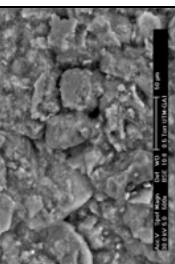
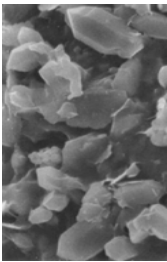
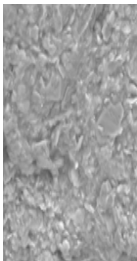
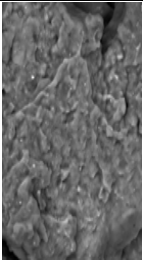
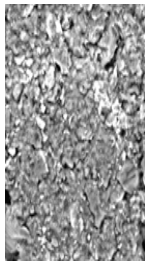
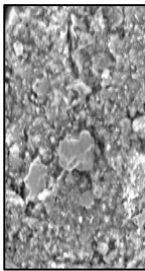
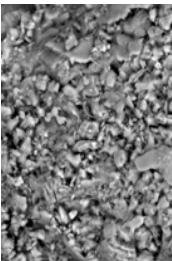
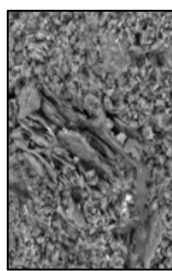
Rajah 5.79: Imej SEM bagi sampel TA1

Rajah 5.80: Imej SEM bagi sampel
TA2

Kedalaman (m)	PA	PC	AA	AC	AD
0.0 – 1.5 dan 1.5 – 3.0		-		-	
3.0 – 4.5		-	-	-	-
4.5 – 6.0	-		-	-	
6.0 – 7.5	-		-	-	-
7.5 – 9.0 dan 9.0 – 10.5	-	-			-

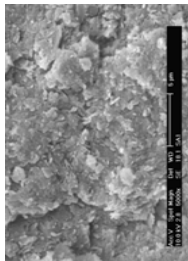
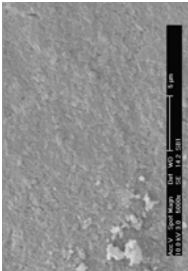
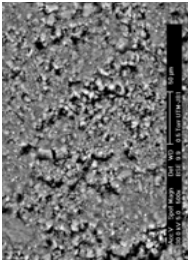
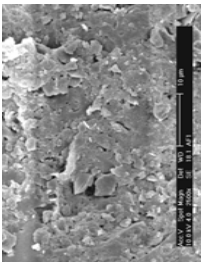
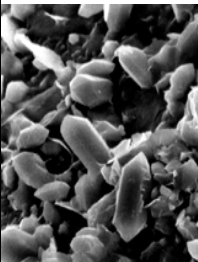
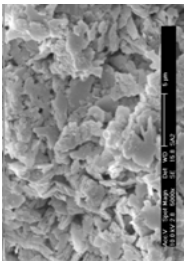
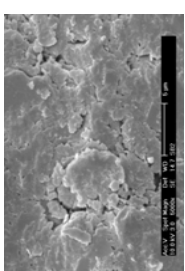
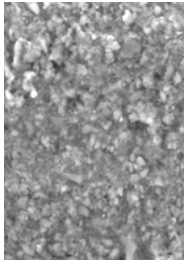
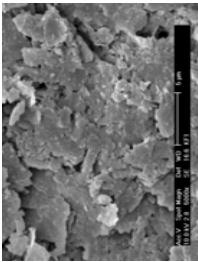
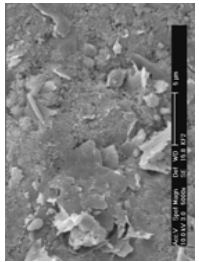
- : Tiada kajian yang dijalankan, PA: Sampel Bukit Mertajam, PC: Sampel Tanjung Bunga, AA: Sampel Sungai Siput, AC: Sampel Bukit Berapit, dan AD: Sampel Padang Rengas

Rajah 5.81: Korelasi Mikrostruktur dan Mikrofabrik dengan Kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	BB	BD	GA	KL	NA
0.0 – 1.5 dan 1.5 – 3.0	-			-	-
3.0 – 4.5		-			-
4.5 – 6.0	-	-	-	-	-
6.0 – 7.5			-		
7.5 – 9.0 dan 9.0 – 10.5		-	-	-	

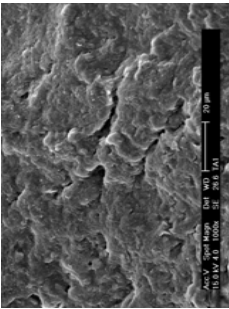
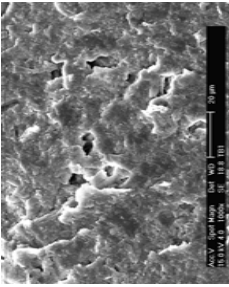
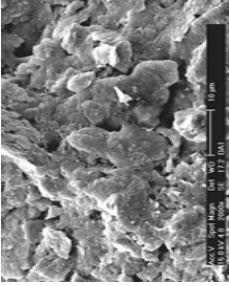
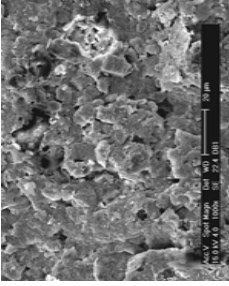
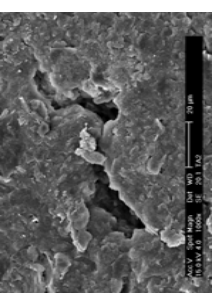
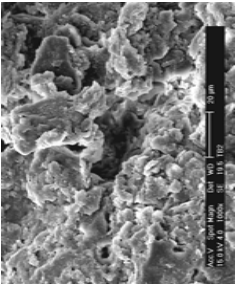
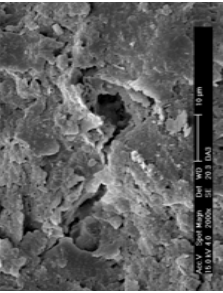
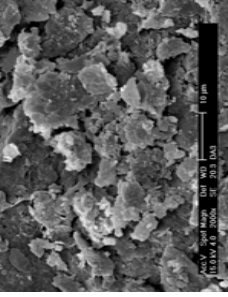
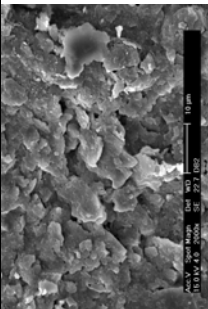
-: Tiada kajian yang dijalankan, BB: Sampel Bandar Baru Bangi, BD: Taman Tasek Kesuma, GA: Sampel Gumut, KL: Sampel Sri Hartamas dan NA: Sampel Seremban

Rajah 5.82: Korelasi Mikrostruktur dan Mikrofabrik dengan Kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	SA	SB	JB	KF	AF
0.0 – 1.5 dan 1.5 – 3.0				-	 
3.0 – 4.5				-	
4.5 – 6.0	-	-	-		-
6.0 – 7.5	-	-	-		-

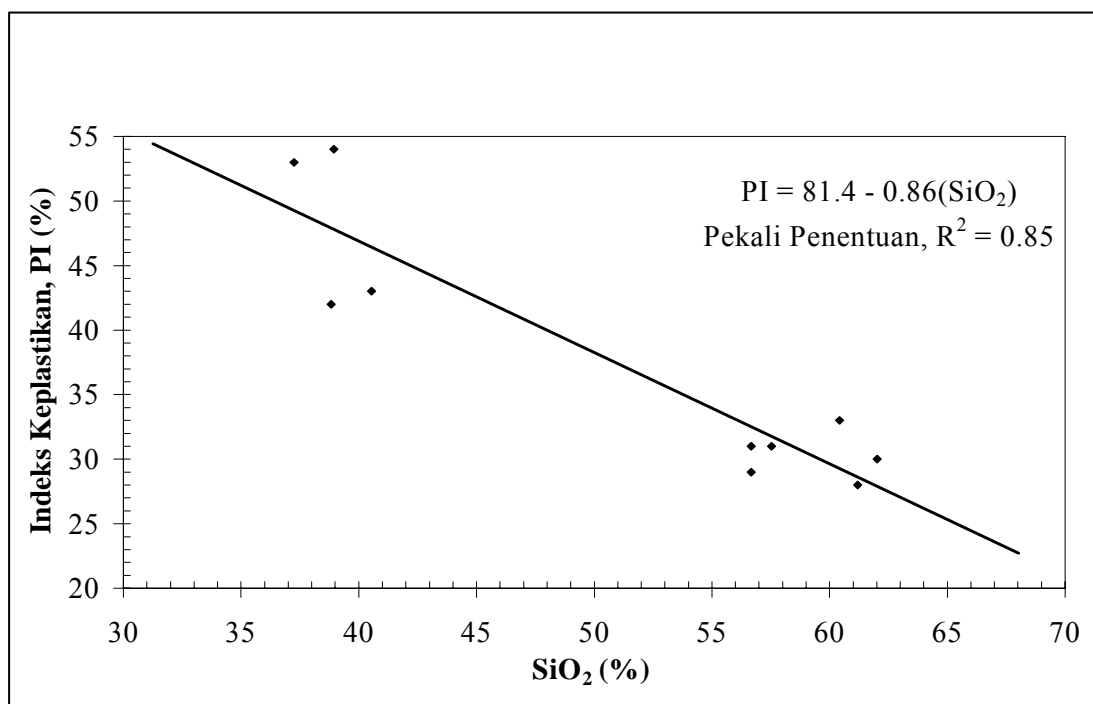
-: Tiada kajian yang dijalankan, SA dan SB: Sampel UTM Skudai, JB: Taman Damai Senai, KF: Sedenak dan AF: Kampung Umbai.

Rajah 5.83: Korelasi Mikrostruktur dan Mikrofabrik dengan Kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

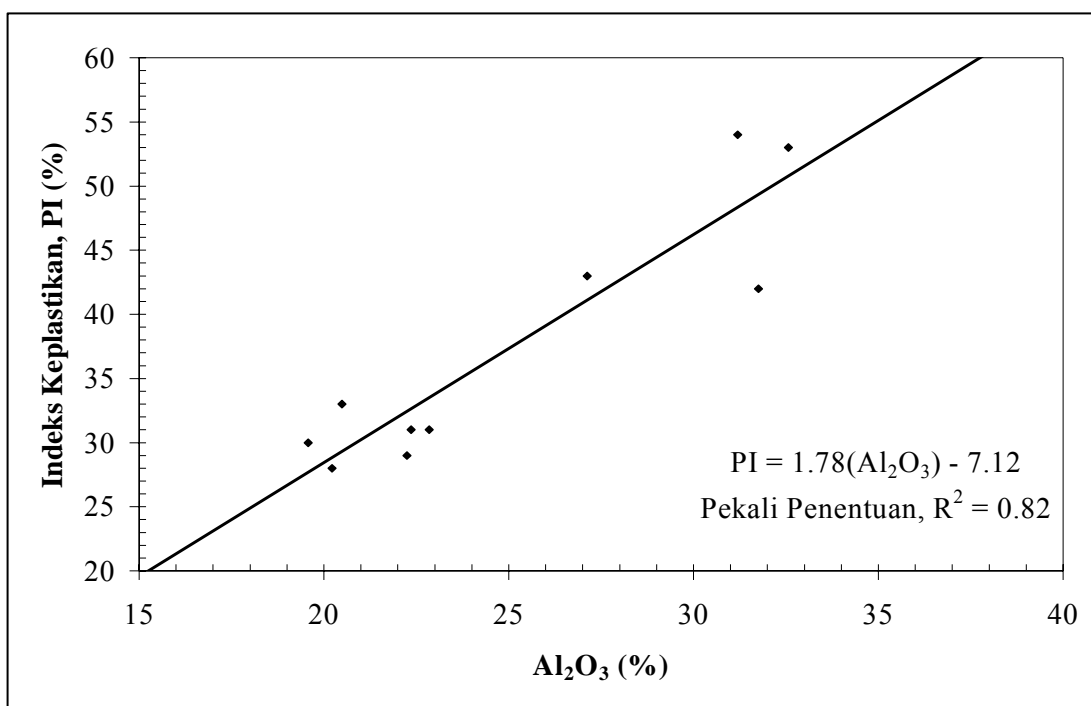
Kedalaman (m)	TA	TB	DA	DB
0.0 – 1.5 dan 1.5 – 3.0				
3.0 – 4.5				
4.5 – 6.0	-	-		

-: Tiada kajian yang dijalankan, TA dan TB: Sampel Wakaf Tapai, DA dan DB: Sampel Pulau Chondong

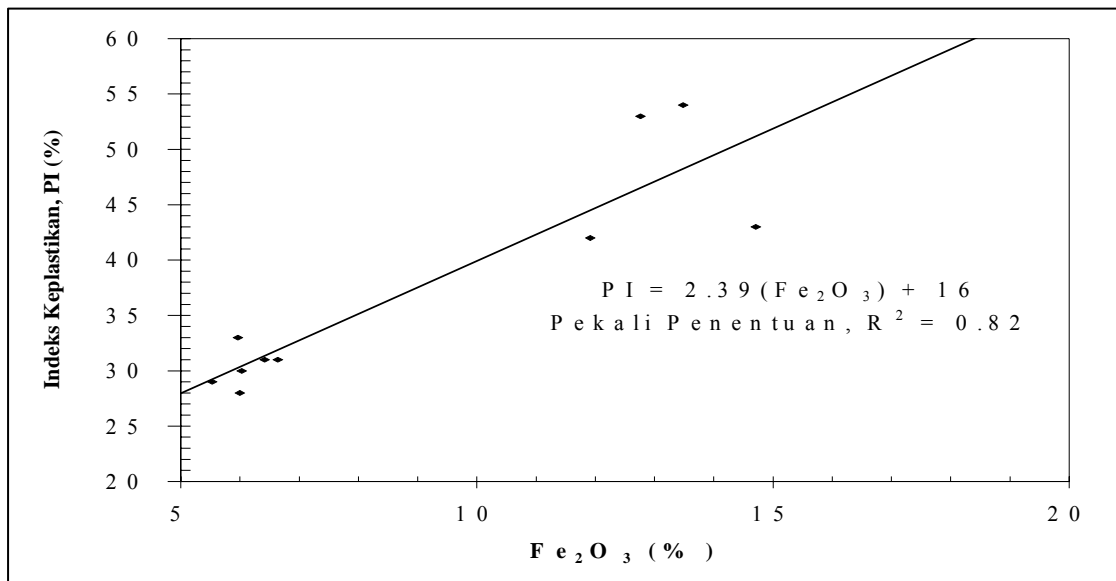
Rajah 5.84: Korelasi Mikrostruktur dan Mikrofabrik dengan Kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia



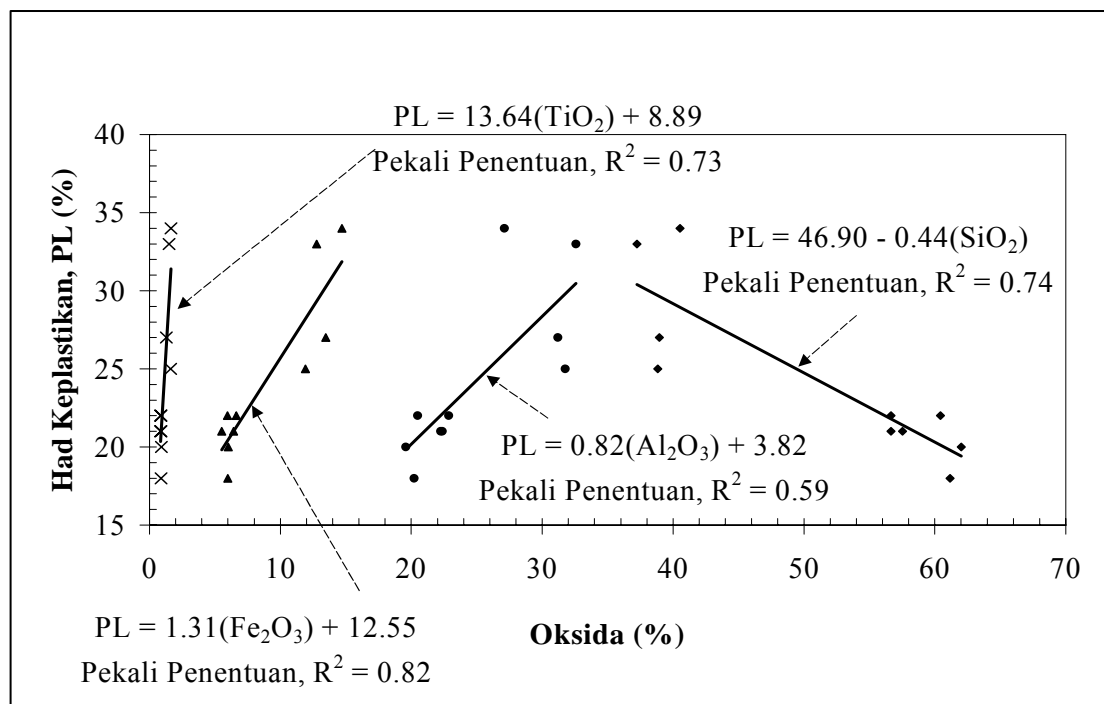
Rajah 5.85: Korelasi Silikon Oksida, SiO₂ dengan Indeks Keplastikan



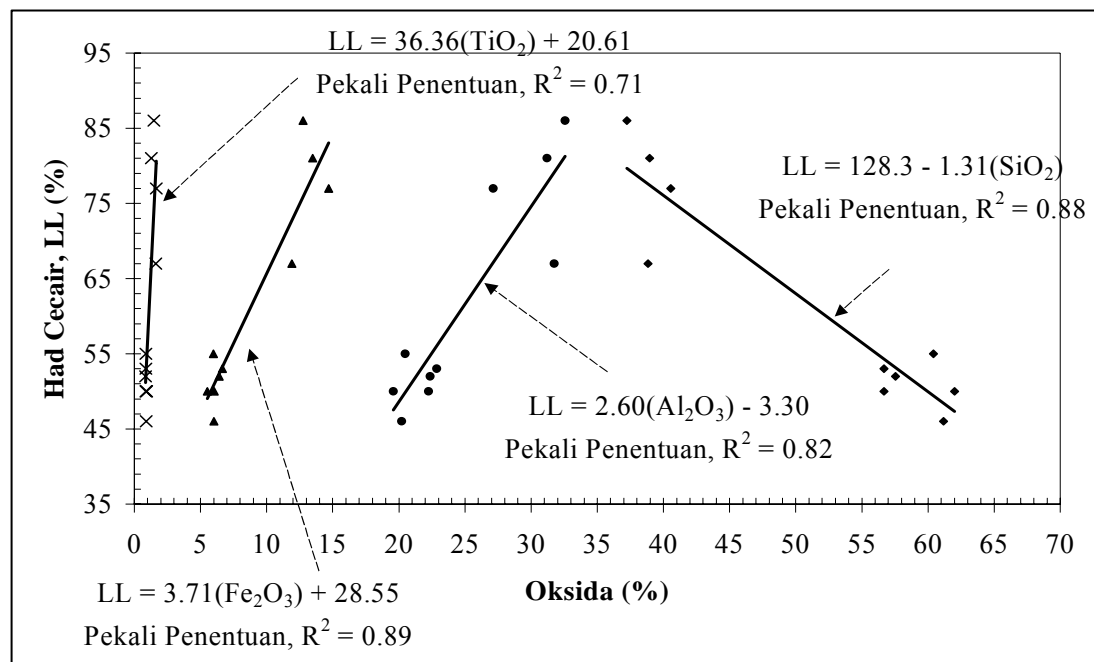
Rajah 5.86: Korelasi Aluminium Oksida, Al₂O₃ dengan Indeks Keplastikan



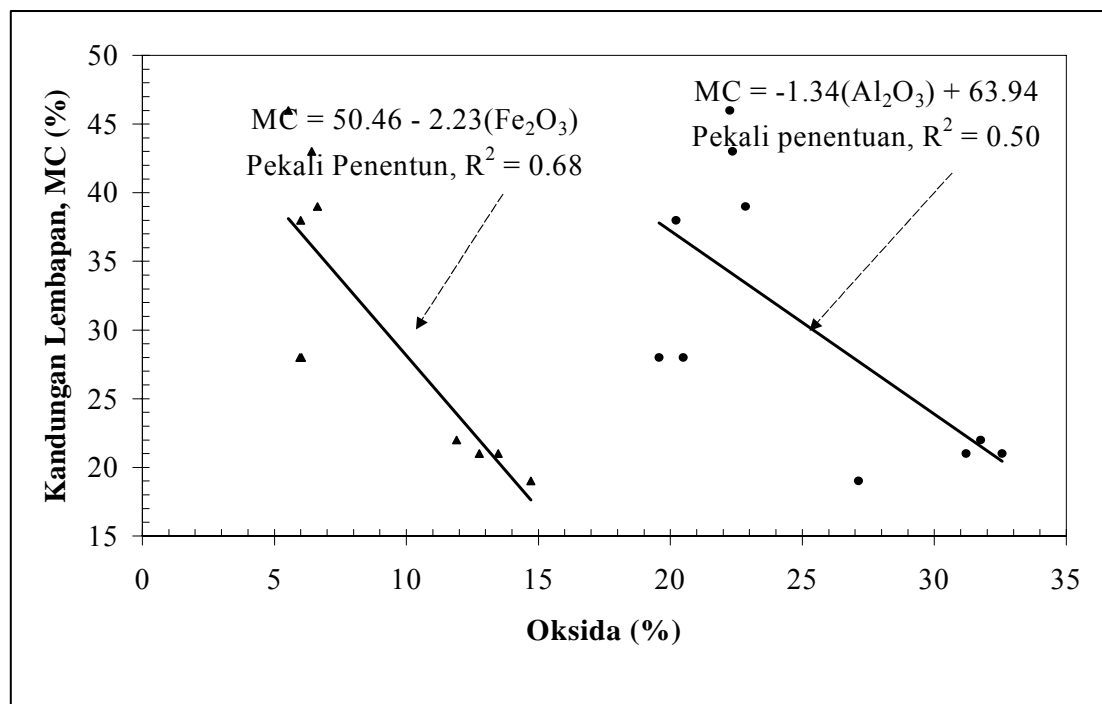
Rajah 5.87: Korelasi Ferum Oksida, Fe_2O_3 dengan Indeks Keplastikan



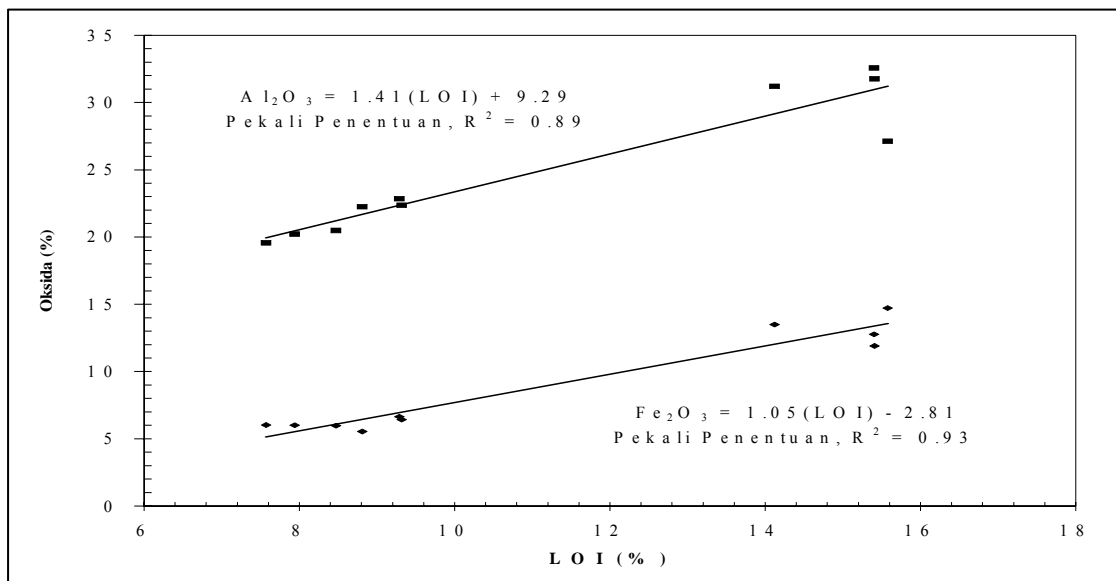
Rajah 5.88: Korelasi Mineralogi dengan Had Keplastikan



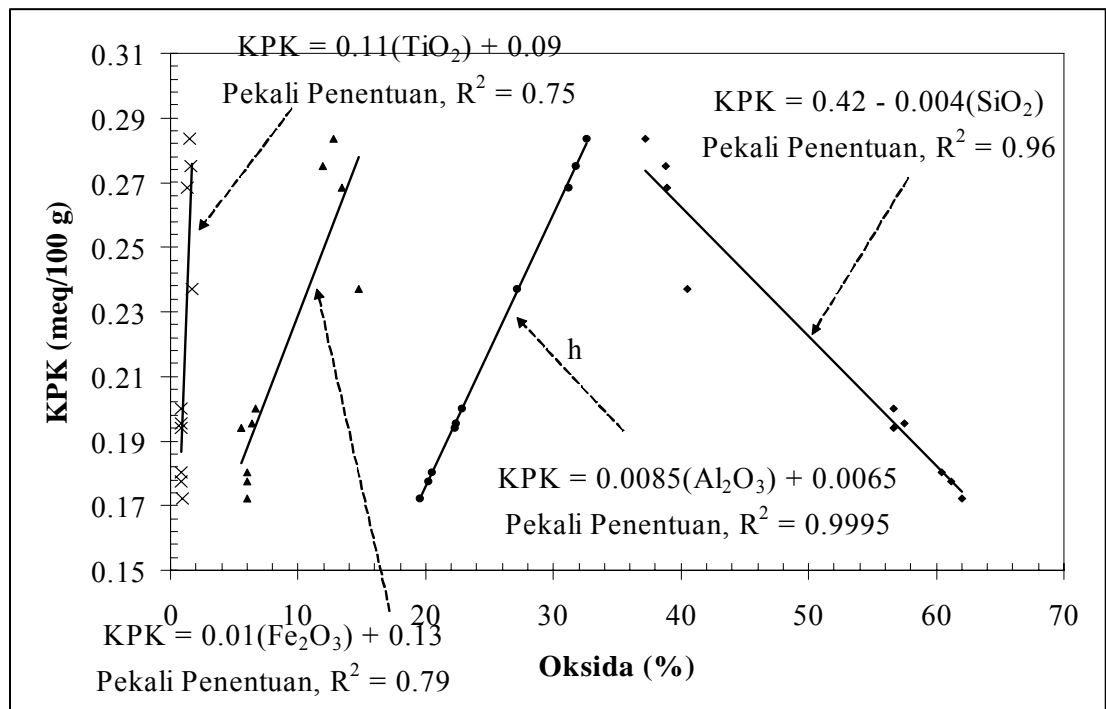
Rajah 5.89: Korelasi Mineralogi dengan Had Cecair



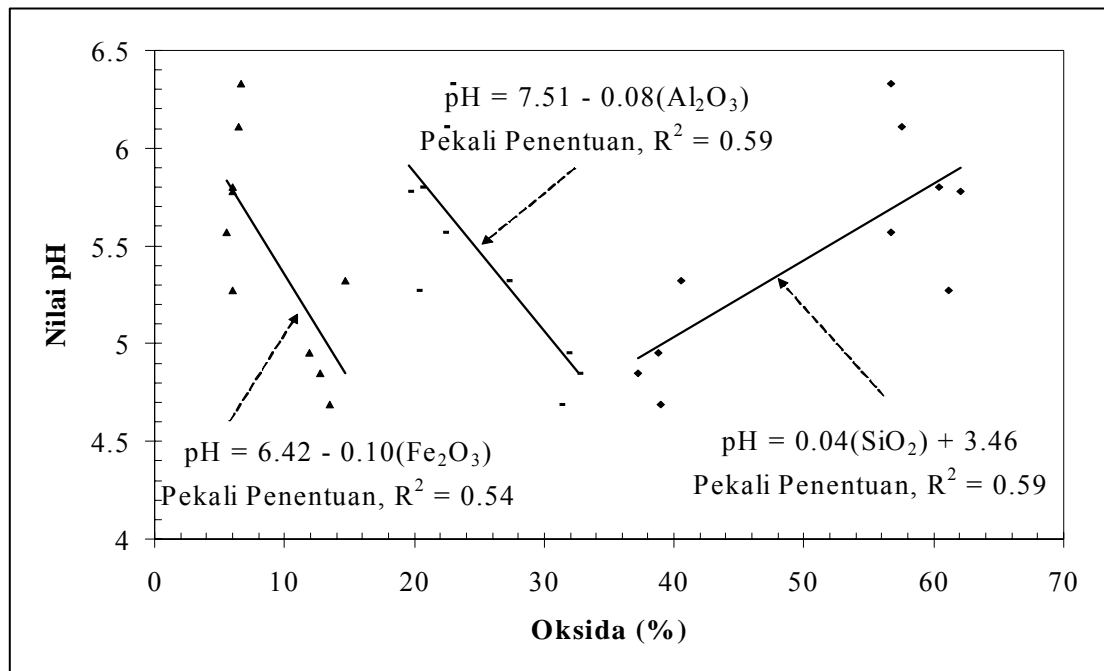
Rajah 5.90: Korelasi Mineralogi dengan Kandungan Lembapan



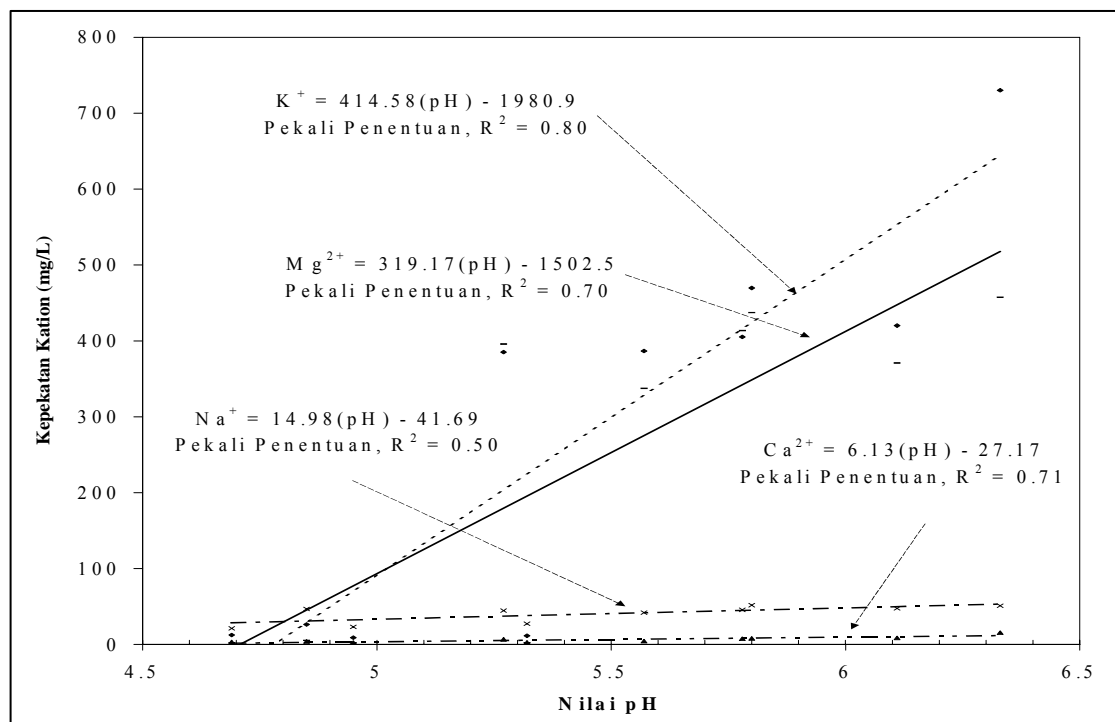
Rajah 5.91: Korelasi Mineralogi dengan LOI



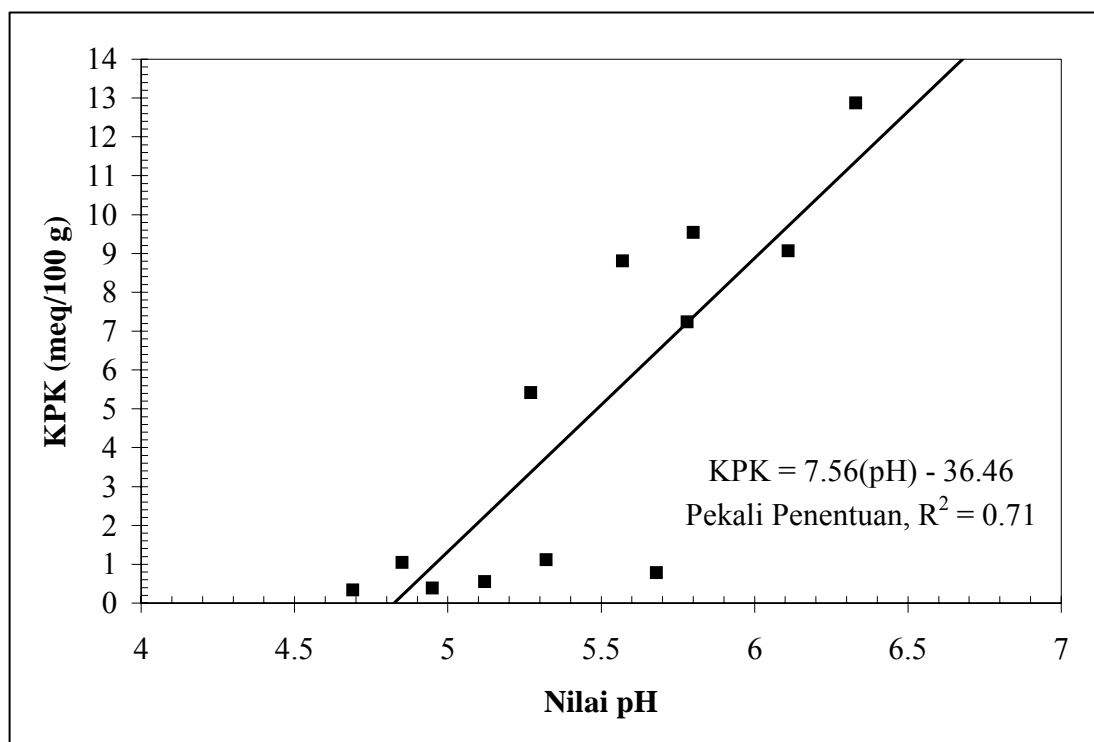
Rajah 5.92: Korelasi Mineralogi dengan KPK



Rajah 5.93: Korelasi Mineralogi dengan Nilai pH



Rajah 5.94: Korelasi Nilai pH dengan Kepekatan Kation



Rajah 5.95: Korelasi KPK dengan Nilai pH

BAB VI

KATALOG CIRI-CIRI FIZIKAL, MINERALOGI, MIKROSTRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA

6.1 Pengenalan

Dalam Bab ini, penulis telah meringkaskan segala analisis-analisis dalam Bab V bagi tujuan rekabentuk awalan dalam kerja-kerja kejuruteraan khususnya kejuruteraan awam bagi memudahkan para perekabentuk atau pihak-pihak pembinaan membuat analisis. Apa yang lebih penting bagi mencapai objektif kajian ini adalah bidang yang dijadikan matlamat mahupun sasaran adalah industri-industri pembinaan yang melibatkan kawasan-kawasan pembinaan yang terletak di atas tanah baki yang berasaskan batuan granit. Oleh itu, sasaran program kajian ini adalah juga melibatkan membina katalog ringkas dan carta korelasi bagi tujuan rekabentuk yang paling ekonomi dan selamat.

Melalui kajian ini juga, faedah-faedah maklumat serta data-data yang dihimpunkan akan memberi pulangan besar kepada beberapa pihak yang aktif dalam bidang kejuruteraan awam dan pembinaan. Antara pihak-pihak yang berpotensi menggunakan data-data adalah Jabatan Kerja Raya (JKR), Lembaga Lebuhraya Malaysia (LLM), Projek Lebuhraya Utara Selatan (PLUS) dan Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). Data-data yang diringkaskan dan dikatalogkan ini memberi kemudahan kepada pihak agensi-agensi kerajaan yang mana penggunaan data tersebut sebagai rekabentuk awalan akan menjamin rekabentuk asas bagi struktur, tambakan dan sebagainya yang paling efektif. Manakala bagi pihak perunding pula

penggunaan ramalan katalog ini akan memudahkan lagi rekabentuk kejuruteraan dan pengurusan projek. Pembinaan yang selamat dan lebih mengetahui akan pengukuran yang selamat bagi masalah pengukuhan dan kestabilan tanah akan memberi faedah kepada pihak kontraktor dan tuan milik tanah tersebut.

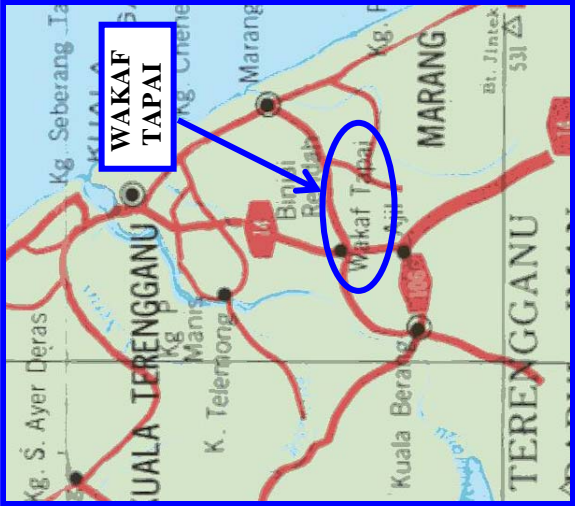
Setelah ujikaji-ujikaji makmal dan interpretasi data dijalankan dan dipersembahkan dalam Bab V iaitu Bab Keputusan dan Analisis, sampel-sampel berkenaan dihimpun dan dikelaskan khususnya berdasarkan bahagian-bahagian di Semenanjung Malaysia dan mengikut kedalaman masing-masing. Oleh itu, ia lebih memudahkan pihak-pihak yang ingin menggunakan katalog rekabentuk ini. Katalog-katalog yang dibina adalah melibatkan jadual dan graf. Setelah kajian dijalankan, beberapa data tidak dapat dihubungkan dengan menggunakan graf berdasarkan nilai pekali penentuan, R^2 adalah kurang daripada nilai 0.50 yang mana nilai 0.50 hingga 0.00 adalah nilai pekali yang menggambarkan korelasi penentuan yang sederhana baik dan lemah. Maka, penulis hanya menggunakan data-data kajian yang diperolehi dengan membina satu jadual yang berkaitan. Antara katalog rekabentuk dan korelasi yang telah dibangunkan seperti nilai pH, nilai berat kehilangan semasa pembakaran (LOI), kandungan sulfat dan klorida sebagai kepekatan anion, peratusan berat oksida seperti silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), ferum oksida (Fe_2O_3) dan titanium oksida (TiO_2), kebolehpaya pertukaran kation (KPK), kandungan relatif mineral dan kepekatan kation.

6.2 Carta Korelasi dan Katalog Ringkas

Beberapa jadual telah dibangunkan berdasarkan kedalaman yang bermula daripada 0.0 m hingga 9.0 m bagi bahagian Utara dan Tengah, 0.0 m hingga 7.5 m bagi bahagian Selatan dan 0.0 m hingga 6.0 m yang mewakili bahagian Timur Semenanjung Malaysia. Lima katalog ciri-ciri kejuruteraan tanah baki dihasilkan mengikut wilayah atau lokasi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6.1 sehingga Rajah 6.6. Katalog ini menunjukkan lokasi sampel, kaedah pensampelan dan bilangan sampel. Bagi setiap lokasi, keputusan taburan saiz zarah, kandungan lembapan semulajadi, nilai graviti tentu tanah, sifat-sifat keplastikan, ciri-ciri

pengukuhan dan parameter kekuatan ricih bagi setiap sampel yang diberikan. Jadual 6.1 menunjukkan kategori-kategori katalog ramalan rekabentuk yang telah dibangunkan yang melibatkan Jadual 6.2 hingga 6.23. Rajah 6.7 sehingga 6.18 menunjukkan katalog ringkas yang telah dibina. Katalog-katalog tersebut dibina berdasarkan penyelidikan yang telah dijalankan yang berkaitan dengan pengujian mineralogi, mikrostruktur dan komposisi kimia bagi tanah baki granit di Semenanjung Malaysia. Katalog-katalog tersebut disusun secara bahagian-bahagian di Semenanjung Malaysia yang bermula dengan bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur. Kandungan katalog tersebut adalah merangkumi:-

- (a) Katalog Komposisi Kimia di bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia.
- (b) Katalog Komposisi Kimia dan Mineralogi di bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia.
- (c) Katalog Mikrostruktur dan Mikrofabrik di bahagian Utara, Tengah, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia.



Lokasi :
Wakaf Tapai, Terengganu

Kaedah Pensampelan :
Tiub berding nipsis

Bilangan Sampel :
BH 1 – 1 & 3 m
BH 2 – 1 & 3 m

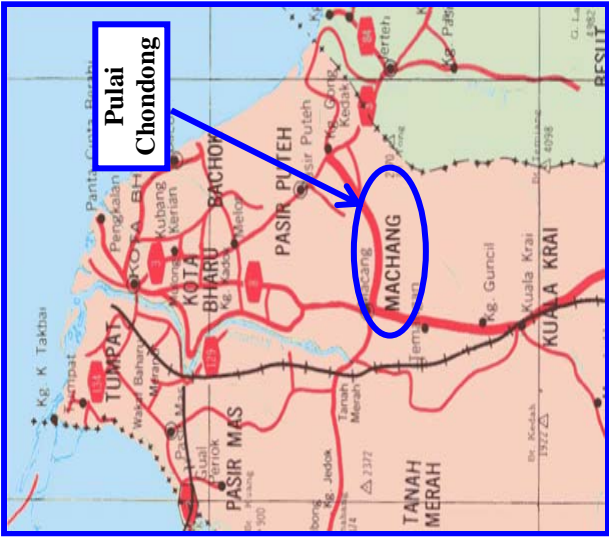
Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi		Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w		G_s
BH1 – 1m	4	22	41	33	21		2.65
BH1 – 3 m	7	22	46	25	21		2.60
BH2 – 1 m	5	52	25	18	19		2.50
BH2 – 3 m	1	66	12	21	22		2.61

Sifat-sifat Keplastikan					Aktiviti, A	
No. Sampel	w_L (%)	w_p (%)	I_p (%)	I_L		
BH1 – 1m	86	34	52	-0.25		1.45
BH1 – 3 m	81	33	48	-0.11		2.16
BH2 – 1 m	77	34	43	-0.35		2.39
BH2 – 3 m	67	25	42	-0.07		2.00

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan	
No. Sampel	P_c (kN/m ²)	c_v (m ² /thn)	C_c	m_v (m ² /MN)	e_o	k (x10 ⁻⁹) m/s
BH1 – 1m	250	33.70	0.21	0.11	0.792	0.916
BH1 – 3 m	280	46.40	0.27	0.16	0.804	1.839
BH2 – 1 m	181	20.14	0.25	0.27	0.846	3.518
BH2 – 3 m	270	49.64	0.26	0.08	0.771	0.256

Parameter Kekuatan Ricih			
No. Sampel	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	
BH1 – 1m	29.7	27.4	
BH1 – 3 m	27.9	26.3	
BH2 – 1 m	22.0	24.6	
BH2 – 3 m	19.9	25.0	

Rajah 6.1 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Timur (Wakaf Tapai, Terengganu)



Lokasi :

Pulau Chondong, Kelantan

Kaedah Pensampelan :

Tiub berding nipis

Bilangan Sampel :

- BH 1 - 1, 3 & 4 m
- BH 2 - 1, 3 & 4 m

Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi	Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w	Gs
BH1 – 1m	0	31	43	26	28	2.61
BH1 – 3 m	0	27	57	16	28	2.67
BH1- 4 m	0	34	48	18	38	2.67
BH2 – 1 m	1	32	23	44	39	2.71
BH2 – 3 m	2	24	33	41	43	2.70
BH2 – 4 m	0	23	54	23	46	2.74

Sifat-sifat Keplastikan					
No. Sampel	w _L (%)	w _P (%)	I _P (%)	I _L	Aktiviti, A
BH1 – 1m	55	22	33	0.18	1.27
BH1 – 3 m	50	20	30	0.27	1.88
BH1- 4 m	46	18	28	0.71	1.56
BH2 – 1 m	53	22	31	0.55	0.70
BH2 – 3 m	52	21	31	0.71	0.76
BH2 – 4 m	50	21	29	0.86	1.26

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan
No. Sampel	P _c (kN/m ²)	c _v (m ² /thn)	C _c	m _v (m ² /MN)	k (x10 ⁻⁹) m/s
BH1 – 1m	200	21.77	0.24	0.22	1.764
BH1 – 3 m	166	39.60	0.26	0.26	1.899
BH1 – 4 m	186	24.13	0.27	0.24	0.533
BH2 – 1 m	215	20.21	0.42	0.27	4.690
BH2 – 3 m	127	15.02	0.32	0.31	5.419
BH2 – 4m	215	14.28	0.31	0.23	9.859

Parameter Kekuatan Ricih	
No. Sampel	c' (kN/m ²)
BH1 – 1m	19.9
BH1 – 3 m	0.0
BH2 – 1 m	9.0
BH2 – 3 m	16.7

No. Sampel	ϕ'
BH1 – 1m	24.9
BH1 – 3 m	31.2
BH2 – 1 m	28.6
BH2 – 3 m	26.3

Rajah 6.2 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Timur (Pulau Chondong, Kelantan)



Lokasi :
Bukit Mertajam, Pulau Pinang

Kaedah Pensampelan :
Tiub berdinding nipis

Bilangan Sampel :
BH 1 – 1 & 3 m
BH 2 – 1 & 3 m

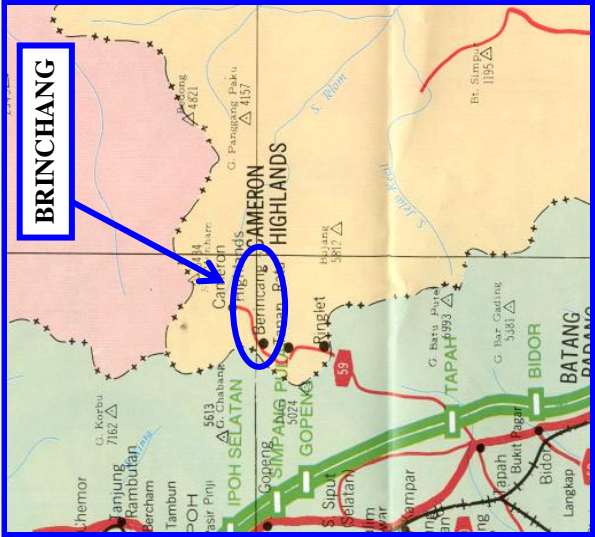
Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi	Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w	G _s
BH1 – 1m	6	71	7	16	10	2.55
BH1 – 3 m	5	52	25	18	14	2.57
BH2 – 1 m	3	60	8	29	27	2.61
BH2 – 3 m	37	27	10	26	24	2.56

Sifat-sifat Keplastikan					I _L	Aktiviti, A
No. Sampel	w _L (%)	w _p (%)	I _p (%)			
BH1 – 1m	67	24	43		-0.33	2.69
BH1 – 3 m	56	21	35		-0.20	1.94
BH2 – 1 m	53	23	30		0.13	1.03
BH2 – 3 m	71	39	32		-0.47	1.23

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan	
No. Sampel	P _c (kN/m ²)	c _v (m ² /thn)	C _c	m _v (m ² /MN)	e _o	k (x10 ⁻⁹) m/s
BH1 – 1m	242	1.53	0.25	0.22	0.655	0.011
BH1 – 3 m	152	29.09	0.11	0.20	0.528	0.059
BH2 – 1 m	277	12.94	0.20	0.21	0.781	0.799
BH2 – 3 m	100	7.29	0.20	0.38	0.905	5.487

Parameter Kekuatan Ricih		
No. Sampel	c' (kN/m ²)	φ' (°)
BH1 – 1m	28.7	29.5
BH2 – 1 m	19.7	23.8

Rajah 6.3 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Utara (Bukit Mertajam, Pulau Pinang)



Lokasi :
Brinchang, Pahang

Kaedah Pensampelan :
Tiub berbinding nipis

Bilangan Sampel :
BH 2 – 5 m
BH 13 – 6 m

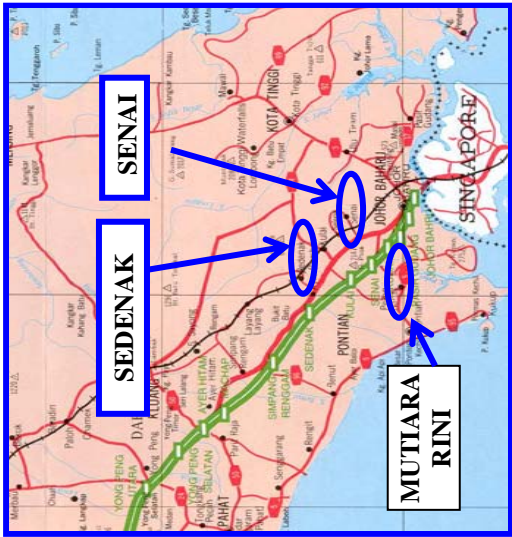
Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi	Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w	Gs
BH2 – 5m	7	53	27	13	23	2.61
BH13 – 6 m	12	69	16	3	28	2.63

Sifat-sifat Keplastikan					Aktiviti, A	
No. Sampel	w _L (%)	w _P (%)	I _P (%)	I _L		
BH2 – 5m	32	18	14	0.36	1.08	
BH13 – 6 m	30	19	11	0.82	3.67	

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan	
No. Sampel	P _c (kN/m ²)	c _v (m ² /thn)	C _c	m _v (m ² /MN)	e _o	k (x10 ⁻⁹) m/s
BH2 – 5m	322	29.37	0.22	0.19	0.801	0.555
BH13 – 6 m	145	1.54	0.34	0.36	1.456	0.328

Parameter Kekuatan Ricih		
No. Sampel	c' (kN/m ²)	φ' (°)
BH2 – 5m	36.4	34.5

Rajah 6.4 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Utara (Brinchang, Pahang)



Lokasi :
Sedenak, Johor (SD)
Senai, Johor (SN)
Mutiara Rini (MR)

Kaedah Pensampelan :
Tiub berding nipis

Bilangan Sampel :
SD-BH 95 – 5 & 6 m
SN- BH 1 - 2 m
MR-BH2 – 3 m

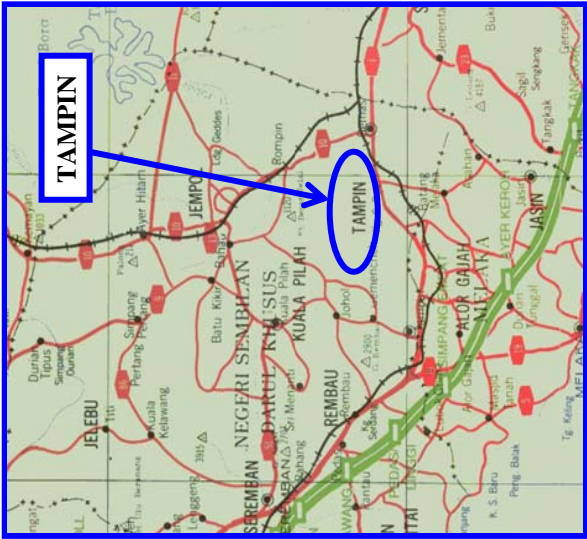
Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi	Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w	Gs
SD-BH95 – 5m	12	51	31	6	38	2.64
SD-BH95 – 6 m	10	44	38	8	44	2.66
SN-BH1 – 2 m	4	8	22	66	88	2.63
MR-BH2 – 3 m	28	22	12	38	23	2.64

Sifat-sifat Keplastikan					Aktiviti, A	
No. Sampel	w _L (%)	w _P (%)	I _p (%)	I _L		
SD-BH95 – 5m	59	37	22	0.05	3.67	
SD-BH95 – 6 m	65	46	19	-0.11	2.38	
SN-BH1 – 2 m	119	42	77	0.60	1.17	
MR-BH2 – 3 m	52	22	30	0.03	0.79	

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan	
No. Sampel	P _c (kN/m ²)	c _v (m ² /thn)	C _c	m _v (m ² /MN)	e _o	k (x10 ⁻⁹) m/s
SD-BH95 – 5m	238	5.74	0.37	0.27	0.992	0.483
SD-BH95 – 6 m	160	3.30	0.28	0.29	0.801	0.287
SN-BH1 – 2 m	124	4.39	0.39	0.36	1.456	0.115
MR-BH2 – 3 m	186	39.69	0.32	0.32	0.990	1.344

Parameter Kekuatan Ricih	
No. Sampel	c' (kN/m ²)
SD-BH95 – 5m	9.0
SD-BH95 – 6 m	16.3
SN-BH1 – 2 m	22.4

Rajah 6.5 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Selatan (Sedenak, Senai dan Mutiara Rini di Johor)



Lokasi :
Tampin, Negeri Sembilan

Kaedah Pensampelan :
Tiub berding nipis

Bilangan Sampel :
BH 1 – 1 & 3 m
BH 2 – 1 & 3 m

Taburan Saiz Zarah					Kandungan Lembapan Semulajadi	Graviti Tentu
No. Sampel	% Kerikil	% Pasir	% Kelodak	% Lempung	w	Gs
BH1 – 1m	5	47	9	39	15	2.59
BH1 – 3 m	4	44	13	39	19	2.51
BH2 – 1 m	33	41	18	8	14	2.58
BH2 – 3 m	20	49	17	14	20	2.58

Sifat-sifat Keplastikan						
No. Sampel	w _L (%)	w _p (%)	I _p (%)	I _L	Aktiviti, A	
BH1 – 1m	74	28	46	-0.28	1.18	
BH1 – 3 m	63	29	34	-0.29	0.87	
BH2 – 1 m	60	28	32	-0.44	4.00	
BH2 – 3 m	57	21	36	-0.03	2.57	

Ciri-ciri Pengukuhan					Pekali Kebolehtelapan	
No. Sampel	P _e (kN/m ²)	c _v (m ² /thn)	C _c	m _v (m ² /MN)	e _o	k (x10 ⁻⁹) m/s
BH1 – 1m	78	30.16	0.23	1.16	1.085	0.237
BH1 – 3 m	84	42.68	0.20	0.56	0.839	1.322
BH2 – 1 m	50	7.09	0.20	1.27	0.821	7.160
BH2 – 3 m	126	11.88	0.20	0.73	1.017	3.997

Parameter Kekuatan Ricih			
No. Sampel	c' (kN/m ²)	φ' (°)	
BH1 – 1m	10.4	30.2	
BH2 – 1 m	6.8	27.7	

Rajah 6.6 : Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah baki Wilayah Selatan (Tampin, Negeri Sembilan)

Jadual 6.1: Kategori Katalog

Nombor Jadual	Kategori Katalog
5.2	Nilai pH
5.3	LOI
5.4	Kepekatan Sulfat
5.5	Kepekatan Klorida (kecuali bahagian Selatan)
5.6	Kepekatan Klorida di bahagian Selatan
5.7	Silikon Oksida
5.8	Aluminium Oksida
5.9	Ferum Oksida
5.10	Titanium Oksida
5.11	Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK)
5.12	Kandungan Relatif Mineral di bahagian Utara
5.13	Kandungan Relatif Mineral di bahagian Tengah
5.14	Kandungan Relatif Mineral di bahagian Selatan
5.15	Kandungan Relatif Mineral di bahagian Timur
5.16	Kepekatan Kation di bahagian Utara
5.17	Kepekatan Kation di bahagian Tengah
5.18	Kepekatan Kation di bahagian Selatan
5.19	Kepekatan Kation di bahagian Timur
5.20	Bentuk Struktur dan Fabrik di bahagian Utara
5.21	Bentuk Struktur dan Fabrik di bahagian Tengah
5.22	Bentuk Struktur dan Fabrik di bahagian Selatan
5.23	Bentuk Struktur dan Fabrik di bahagian Timur

**Jadual 6.2: Jadual Korelasi Nilai pH dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	5.42 – 6.93	5.26 – 5.27	5.49 – 5.78	4.85 – 5.32
1.5 – 3.0			4.93 – 5.92	4.69 – 6.33
3.0 – 4.5	5.35 – 6.70	4.34 – 5.70	4.68 – 5.35	4.95 – 6.11
4.5 – 6.0		5.13 – 5.62	5.67 – 6.45	5.27 – 5.57
6.0 – 7.5	4.81 – 5.94			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	5.82 – 6.49	5.32 – 5.46	Tiada Sampel	Tiada Sampel

**Jadual 6.3: Jadual Korelasi Peratus LOI dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	6.26 – 16.07	10.22 – 16.16	17.01 – 18.81	15.40 – 15.58
1.5 – 3.0			8.20 – 16.53	9.29 – 14.12
3.0 – 4.5	7.81 – 12.52	5.18 – 12.90	5.57 – 13.81	9.32 – 15.41
4.5 – 6.0		10.94 – 18.67	8.74 – 9.06	7.94 – 8.81
6.0 – 7.5	10.12 – 13.01			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	9.82 – 10.55	3.79 – 11.73	Tiada Sampel	Tiada Sampel

**Jadual 6.4: Jadual Korelasi Kepekatan Sulfat dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Bahagian	Pekali Penentuan	Rumus
Utara	$R^2 = 0.95$	Kandungan SO_4^{2-} (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.46} \right]^{0.95}$
Tengah	$R^2 = 0.93$	Kandungan SO_4^{2-} (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.27} \right]^{1.35}$
Selatan	$R^2 = 0.98$	Kandungan SO_4^{2-} (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.41} \right]^{0.92}$
Timur	$R^2 = 0.99$	Kandungan SO_4^{2-} (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.67} \right]^{1.25}$

**Jadual 6.5: Jadual Korelasi Kepekatan Klorida dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Bahagian	Pekali Korelasi	Rumus
Utara	$R^2 = 0.56$	Kandungan Cl^- (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.26} \right]^{0.98}$
Tengah	$R^2 = 0.83$	Kandungan Cl^- (ppm) = $\left[\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.23} \right]^{0.99}$
Timur	$R^2 = 0.85$	Kandungan Cl^- (ppm) = $\frac{\text{Kedalaman, D}}{0.19}$

**Jadual 6.6: Jadual Korelasi Kepekatan Klorida dengan Kedalaman
di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Kandungan Klorida, Cl ⁻ (ppm)
0 – 1.5	5.49 – 5.78
1.5 – 3.0	4.93 – 5.92
3.0 – 4.5	4.68 – 5.35
4.5 – 6.0	5.67 – 6.45
6.0 – 7.5	

**Jadual 6.7: Jadual Korelasi Peratus Silikon Oksida dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	46.47 – 78.51	41.12 – 57.96	28.54 – 39.03	37.25 – 40.54
1.5 – 3.0			40.52 – 87.39	38.94 – 60.42
3.0 – 4.5	47.00 – 70.63	41.18 – 64.30	44.77 – 77.99	38.83 – 62.02
4.5 – 6.0		34.07 – 57.22	55.99 – 62.38	56.66 – 61.18
6.0 – 7.5	46.54 – 50.39			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	50.49 – 51.32	50.81 – 78.11	Tiada Sampel	Tiada Sampel

**Jadual 6.8: Jadual Korelasi Peratus Aluminium Oksida dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	12.96 – 33.95	26.26 – 34.79	39.32 – 34.45	27.12 – 32.57
1.5 – 3.0			2.53 – 35.45	20.49 – 31.20
3.0 – 4.5	16.25 – 32.84	21.30 – 30.22	12.00 – 37.93	19.57 – 31.76
4.5 – 6.0		18.91 – 40.78	20.07 – 23.28	20.22 – 22.25
6.0 – 7.5	31.12 – 33.54			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	25.59 – 31.94	13.08 – 33.75	Tiada Sampel	Tiada Sampel

**Jadual 6.9: Jadual Korelasi Peratus Ferum Oksida dengan Kedalaman
di Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	1.46 – 5.46	2.13 – 6.50	8.02 – 12.27	12.76 – 14.71
1.5 – 3.0			1.27 – 7.75	5.97 – 13.48
3.0 – 4.5	1.30 – 4.28	2.25 – 13.05	1.84 – 2.31	6.03 – 11.91
4.5 – 6.0		4.52 – 12.41	6.93 – 7.01	5.53 – 6.00
6.0 – 7.5	3.10 – 4.62			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	2.02 – 6.69	1.35 – 1.90	Tiada Sampel	Tiada Sampel

Jadual 6.10: Jadual Korelasi Peratus Titanium Oksida dengan Kedalaman di Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	0.39 – 0.65	0.58 – 1.14	0.67 – 0.87	1.49 – 1.65
1.5 – 3.0			0.22 – 1.62	0.86 – 1.28
3.0 – 4.5	0.42 – 0.65	0.70 – 1.45	0.61 – 2.21	0.84 – 1.62
4.5 – 6.0		0.70 – 1.22	0.81 – 0.87	0.88 – 0.89
6.0 – 7.5	0.43 – 0.63			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	0.56 – 0.73	0.20 – 0.48	Tiada Sampel	Tiada Sampel

Jadual 6.11: Jadual Korelasi Kebolehpaya Pertukaran Kation (KPK) dengan Kedalaman di Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Bahagian Utara	Bahagian Tengah	Bahagian Selatan	Bahagian Timur
0 – 1.5	6.348 – 8.783	4.572 – 4.605	5.022 – 7.213	1.049 – 1.121
1.5 – 3.0			0.791 – 8.271	9.542 – 12.875
3.0 – 4.5	4.368 – 7.598	1.560 – 6.013	0.640 – 3.964	7.236 – 9.063
4.5 – 6.0		2.474 – 5.751	6.382 – 8.648	5.416 – 8.807
6.0 – 7.5	1.906 – 6.900			Tiada Sampel
7.5 – 9.0	4.292 – 9.358	3.227 – 3.967	Tiada Sampel	Tiada Sampel

Jadual 6.12: Jadual Korelasi Kandungan Relatif Mineral Lazim dengan Kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kandungan Mineral Lazim (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit dan Ilit > Mikrolin/Ortoklas
1.5 – 3.0	
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit
4.5 – 6.0	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit > Gipsit
6.0 – 7.5	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Ortoklas/Mikrolin > Ilit > Montmorilonit
7.5 – 9.0	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit

Jadual 6.13: Jadual Korelasi Kandungan Relatif Mineral Lazim dengan Kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kandungan Mineral Lazim (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Muskovit dan Ilit > Montmorilonit > Mikrolin/Ortoklas
1.5 – 3.0	
3.0 – 4.5	Kuarza > kaolinit > Ilit > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Goetit > Gipsit > Montmorilonit
4.5 – 6.0	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Montmorilonit dan Ilit > Gipsit
6.0 – 7.5	
7.5 – 9.0	Kaolinit > Gipsit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Ilit > Motmorilonit
9.0 – 10.5	Kuarza dan Kaolinit > Muskovit > Mikrolin/Ortoklas > Montmorilonit, Gipsit dan Ilit

Jadual 6.14: Jadual Korelasi Kandungan Relatif Mineral Lazim dengan Kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kandungan Mineral Lazim (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Montmorilonit dan Goetit > Gipsit > Muskovit
1.5 – 3.0	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Montmorilonit dan Goetit > Ilit Ilit > Ortoklas/Mikrolin dan Gipsit
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit dan Goetit > Gipsit
4.5 – 6.0	Kuarza > Kaolinit > Montmorilonit > Muskovit
6.0 – 7.5	

Jadual 6.15: Jadual Korelasi Kandungan Relatif Mineral Lazim dengan Kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kandungan Mineral Lazim (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	Kaolinit dan Kuarza > Goetiti > Ilit dan Gipsit > Montmorilonit
1.5 – 3.0	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas > Goetit dan Ilit > Muskovit > Montmorilonit
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit > Goetit > Gipsit dan Montmorilonit
4.5 – 6.0	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas dan Muskovit > Ilit

Jadual 6.16: Jadual Korelasi Kepekatan Kation dengan Kedalaman di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kepekatan Kation (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	$K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
1.5 – 3.0	
3.0 – 4.5	$K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
4.5 – 6.0	
6.0 – 7.5	$Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$
7.5 – 9.0	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$

Jadual 6.17: Jadual Korelasi Kepekatan Kation dengan Kedalaman di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kepekatan Kation (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	$Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
1.5 – 3.0	
3.0 – 4.5	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
4.5 – 6.0	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
6.0 – 7.5	
7.5 – 9.0	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$

Jadual 6.18: Jadual Korelasi Kepekatan Kation dengan Kedalaman di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kepekatan Kation (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
1.5 – 3.0	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
3.0 – 4.5	$Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
4.5 – 6.0	$Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Ca^{2+}$
6.0 – 7.5	

Jadual 6.19: Jadual Korelasi Kepekatan Kation dengan Kedalaman di bahagian Timur Semenanjung Malaysia

Kedalaman (m)	Kepekatan Kation (dari Relatif Terbanyak kepada Tersedikit)
0 – 1.5	$Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
1.5 – 3.0	$K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$
3.0 – 4.5	$K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+}$
4.5 – 6.0	$Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Ca^{2+}$

**Jadual 6.20: Jadual Korelasi Struktur dan Fabrik dengan Kedalaman
di bahagian Utara Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Struktur	Fabrik
0 – 1.5	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Butiran dengan hubungan secara terselaput
1.5 – 3.0		
3.0 – 4.5	Matriks lempung	Empingan yang disusun secara rawak atau domain
4.5 – 6.0	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Hubungan secara terselaput dan bertiub yang disusun secara rawak
6.0 – 7.5	Matriks lempung	Empingan yang disusun secara rawak atau domain
7.5 – 9.0	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Butiran dengan hubungan secara terselaput

**Jadual 6.21: Jadual Korelasi Struktur dan Fabrik dengan Kedalaman
di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Struktur	Fabrik
0 – 1.5	Matriks lempung	Butiran dengan hubungan secara terselaput
1.5 – 3.0		
3.0 – 4.5	Matriks berbutir	Butiran dengan hubungan secara terselaput
4.5 – 6.0	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Butiran dengan hubungan secara terselaput
6.0 – 7.5		
7.5 – 9.0	Matriks lempung	Merangkumi empingan yang disusun secara rawak dan butiran dengan hubungan secara terselaput

**Jadual 6.22: Jadual Korelasi Struktur dan Fabrik dengan Kedalaman
di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Struktur	Fabrik
0 – 1.5	Matriks lempung	Butiran dengan hubungan secara terselaput
1.5 – 3.0	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Butiran dengan hubungan secara terselaput
3.0 – 4.5	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Merangkumi empingan yang disusun secara rawak dan butiran dengan hubungan secara terselaput
4.5 – 6.0	Merangkumi matriks lempung dan berbutir	Merangkumi empingan yang disusun secara selari dan butiran dengan hubungan secara individu
6.0 – 7.5		

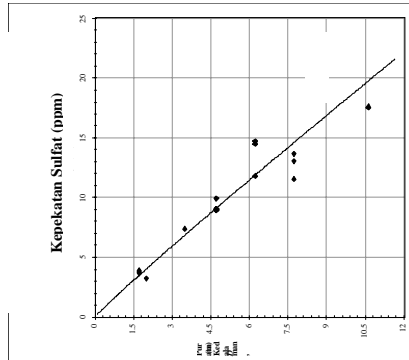
**Jadual 6.23: Jadual Korelasi Struktur dan Fabrik dengan Kedalaman
di bahagian Timur Semenanjung Malaysia**

Kedalaman (m)	Struktur	Fabrik
0 – 1.5	Matriks lempung	Merangkumi empingan yang disusun secara rawak dan butiran dengan hubungan secara terselaput
1.5 – 3.0	Matriks lempung	Empingan yang disusun secara rawak
3.0 – 4.5	Matriks lempung	Empingan yang disusun secara rawak dan bergugus
4.5 – 6.0	Matriks lempung	Empingan yang disusun secara rawak

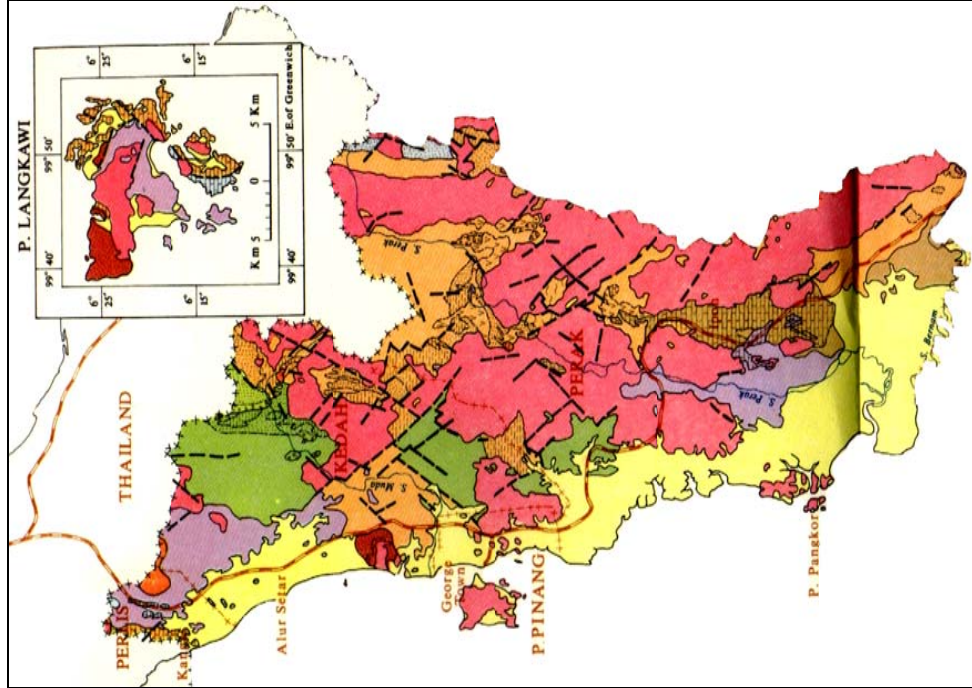
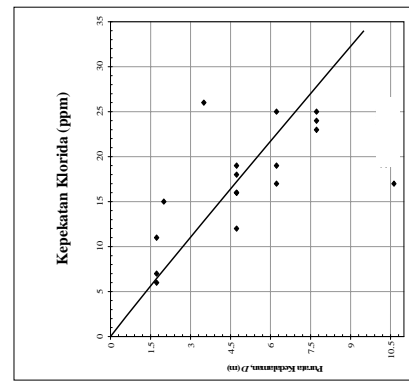
Komposisi Kimia

D (m)	Nilai pH	L.O.I. (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
0 – 1.5	5.42 – 6.93	6.26 – 16.07	46.47 – 75.81	12.96 – 33.95
1.5 – 3.0				
3.0 – 4.5	5.35 – 6.70	7.81 – 12.52	47.00 – 70.63	16.25 – 32.84
4.5 – 6.0				
6.0 – 7.5	4.81 – 5.94	10.12 – 13.01	46.54 – 50.39	31.12 – 33.54
7.5 – 9.0	5.82 – 6.49	9.82 – 10.55	50.49 – 51.32	25.59 – 31.94

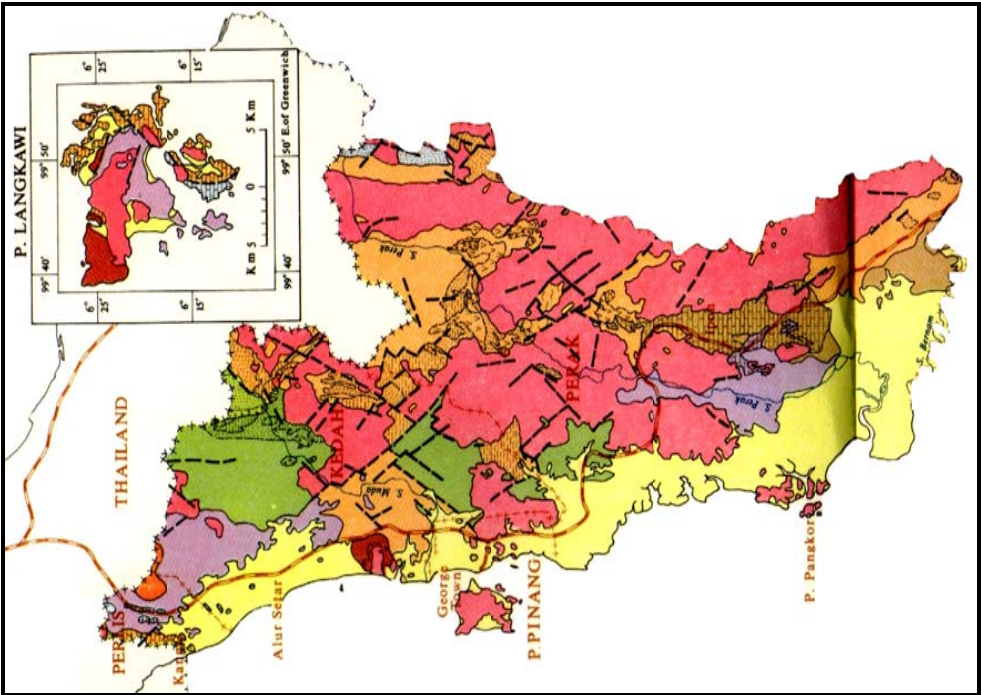
Sulfat, gunakan $(D/0.67)^{1.05}$ dan



klorida, gunakan $(D/0.23)^{1.06}$



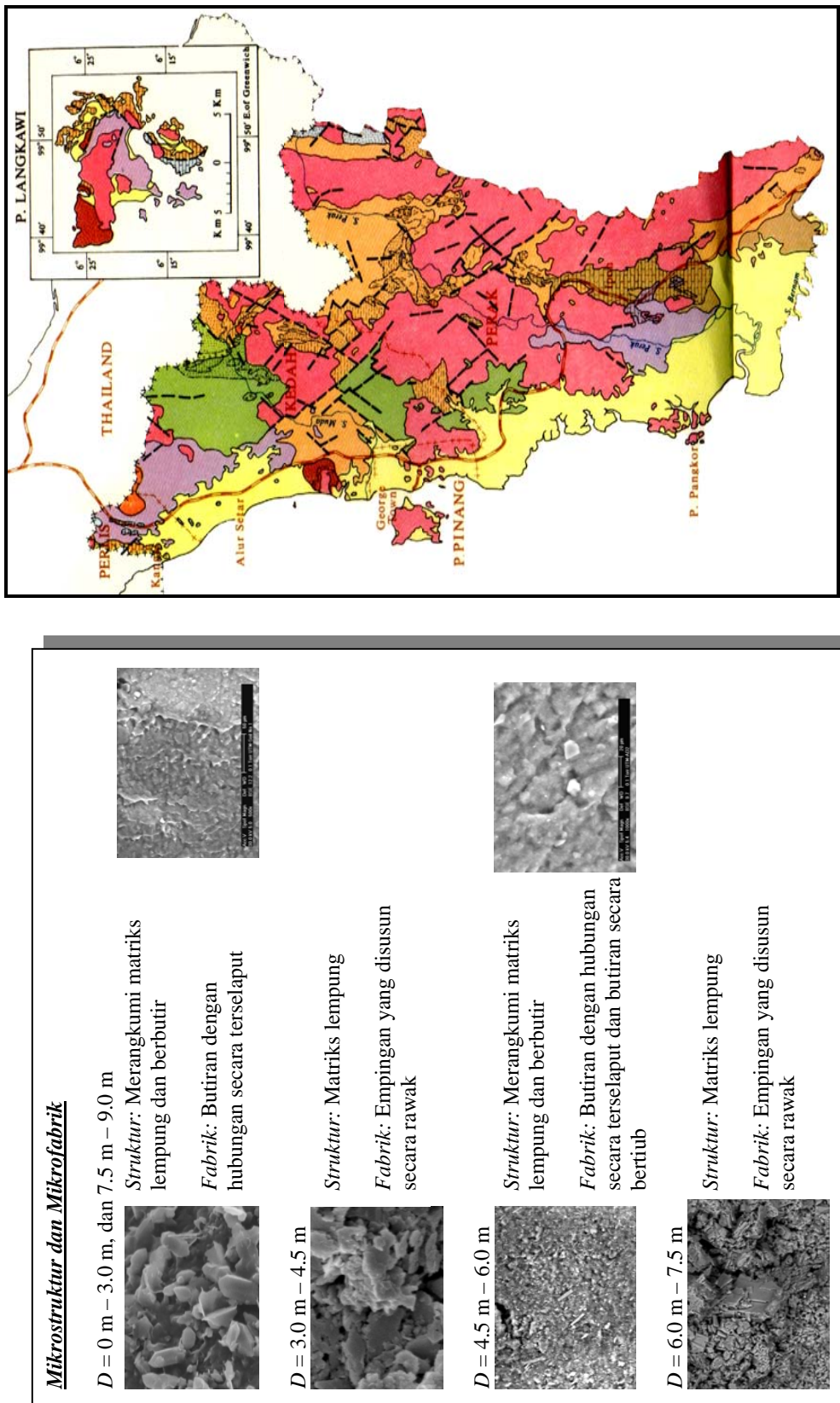
Rajah 6.7: Katalog Komposisi Kimia di bahagian Utara Semenanjung Malaysia



Komposisi Kimia		
D (m)	Nilai KPK (meq/100 g)	Kepekatan Kation
0 – 1.5	6.348 – 8.783	$K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
1.5 – 3.0		
3.0 – 4.5	4.368 – 7.598	$K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$
4.5 – 6.0		
6.0 – 7.5	1.906 – 6.900	$Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+$
7.5 – 9.0	4.292 – 9.358	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$

Kandungan Mineral		
(dari Relatif terbanyak kepada Tersedikit)		
D (m)	Kandungan Mineral Lazim	
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit dan Ilit > Mikrolin/Ortoklas	
1.5 – 3.0		
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Montmorilonit	
4.5 – 6.0	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Ilit > Montmorilonit > Gibsit	
6.0 – 7.5		
7.5 – 9.0	Kaolinit > Kuarza > Mikrolin/Ortoklas > Ilit > Montmorilonit	

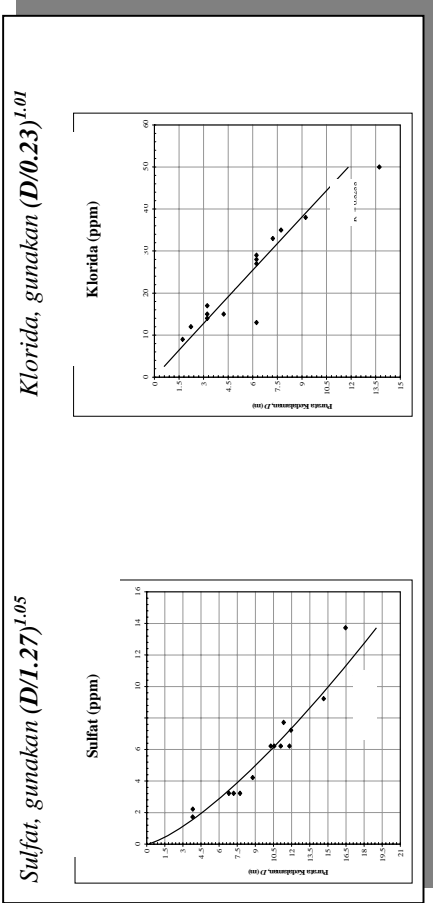
Rajah 6.8: Katalog Komposisi Kimia dan Mineralogi di bahagian Utara Semenanjung Malaysia



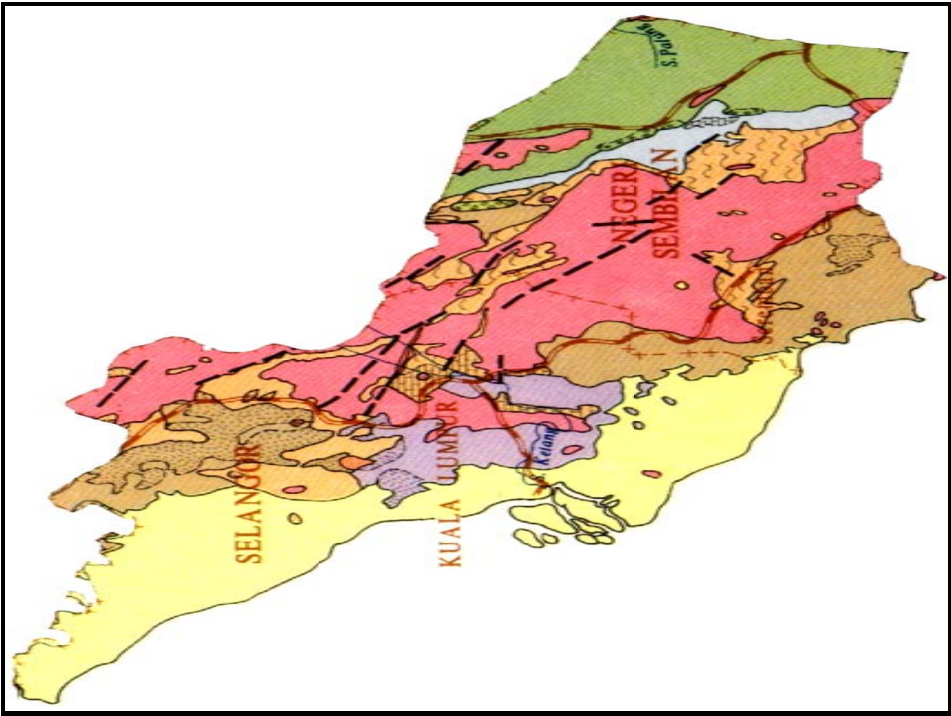
Rajah 6.9: Katalog Mikrostruktur dan Mikrofabrik di bahagian Utara Semenanjung Malaysia

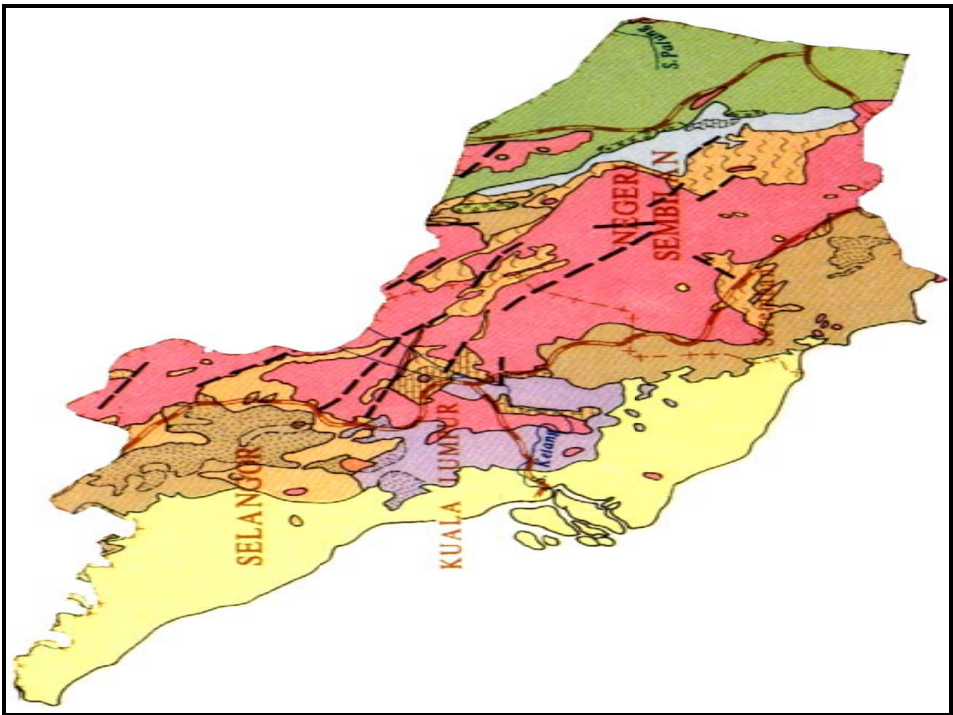
Komposisi Kimia

D (m)	Nilai pH	L.O.I. (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
0 – 1.5	5.26 – 5.27	10.22 – 16.16	41.12 – 57.96	26.26 – 34.79
1.5 – 3.0				
3.0 – 4.5	4.34 – 5.70	5.18 – 12.90	41.18 – 64.30	21.30 – 30.22
4.5 – 6.0	5.13 – 5.62	10.94 – 18.67	34.07 – 57.22	18.91 – 40.78
6.0 – 7.5				
7.5 – 9.0	5.32 – 5.46	3.79 – 11.73	50.81 – 78.11	13.08 – 33.75



Rajah 6.10: Katalog Komposisi Kimia di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia

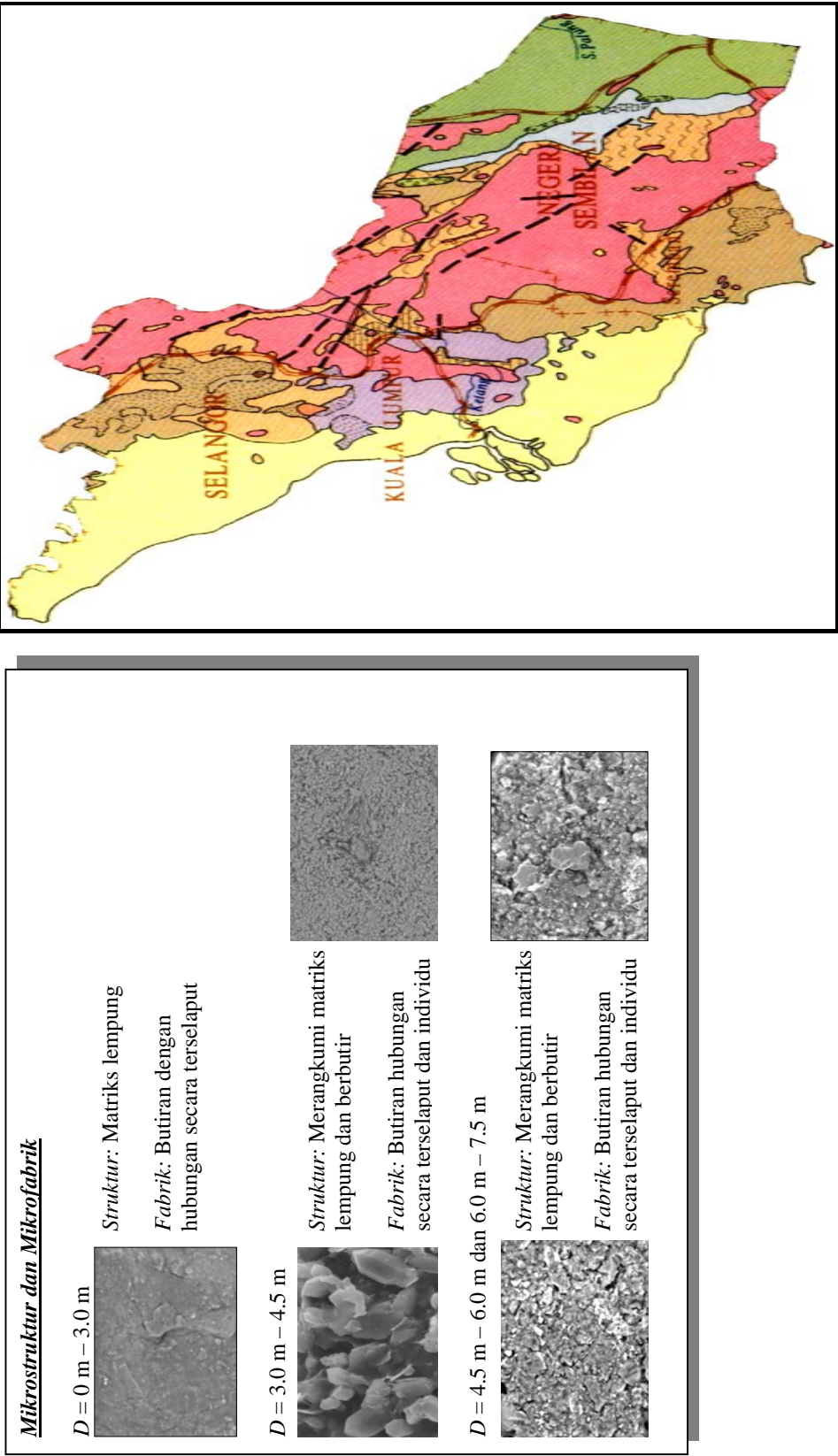




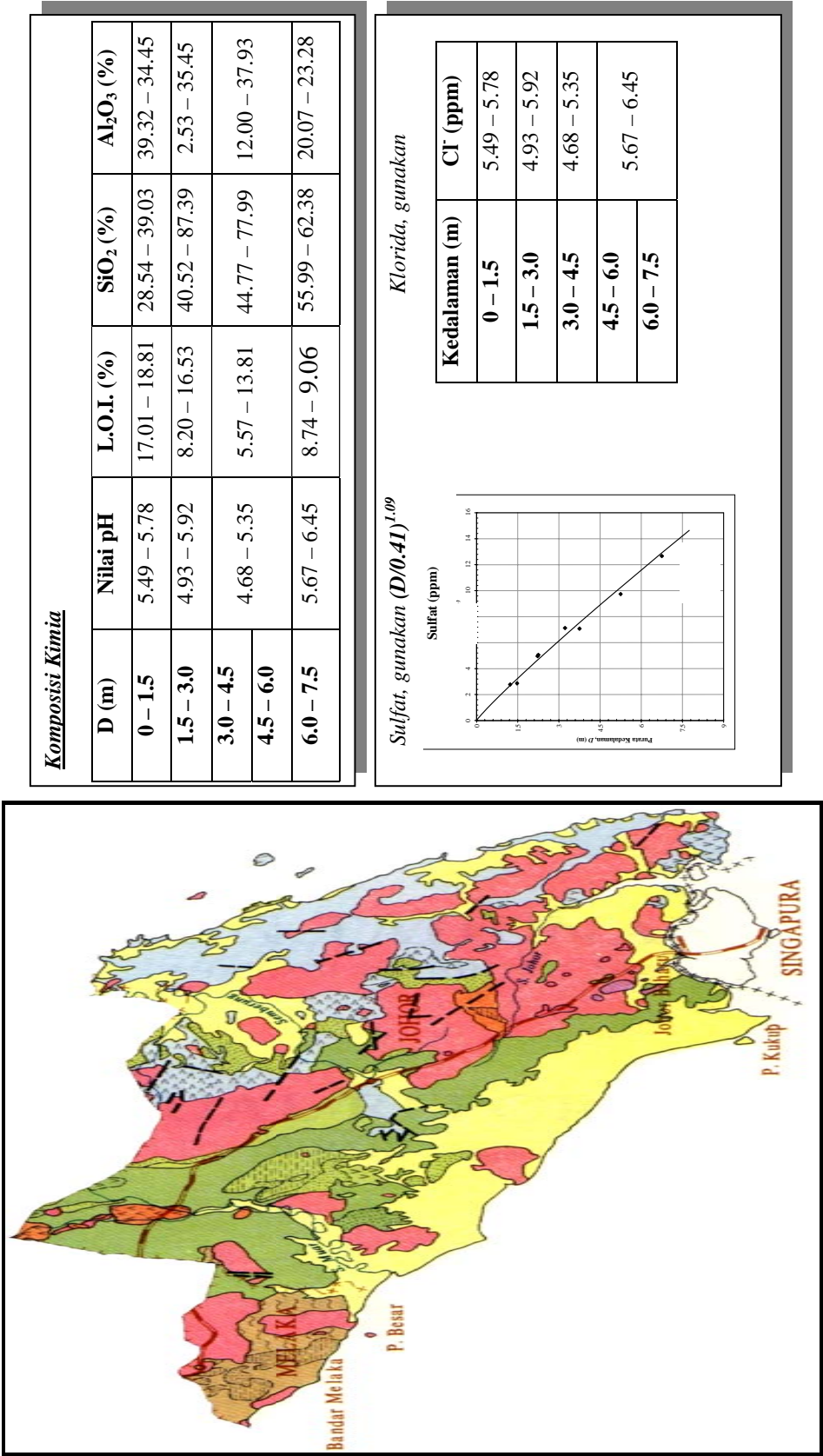
<i>Komposisi Kimia</i>		
D (m)	Nilai KPK (meq/100 g)	Kepekatan Kation
0 – 1.5	4.572 – 4.605	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
1.5 – 3.0		
3.0 – 4.5	1.560 – 6.013	$\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
4.5 – 6.0	2.474 – 5.751	$\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
6.0 – 7.5		
7.5 – 9.0	3.227 – 3.967	$\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

<i>Kandungan Mineral</i> (dari Relatif terbanyak kepada Tersedikit)	
D (m)	Kandungan Mineral Lazim
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Muskovit dan Ilit > Montmorilonit > Mikrolin/Ortoklas
1.5 – 3.0	
3.0 – 4.5	Kuarza > kaolinit > Ilit > Mikrolin/Ortoklas > Muskovit > Goetit > Gibsit > Montmorilonit
4.5 – 6.0	Kaolinit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Montmorilonit dan Ilit > Gibsit
6.0 – 7.5	
7.5 – 9.0	Kaolinit > Gibsit > Kuarza > Goetit > Muskovit > Ilit > Montmorilonit

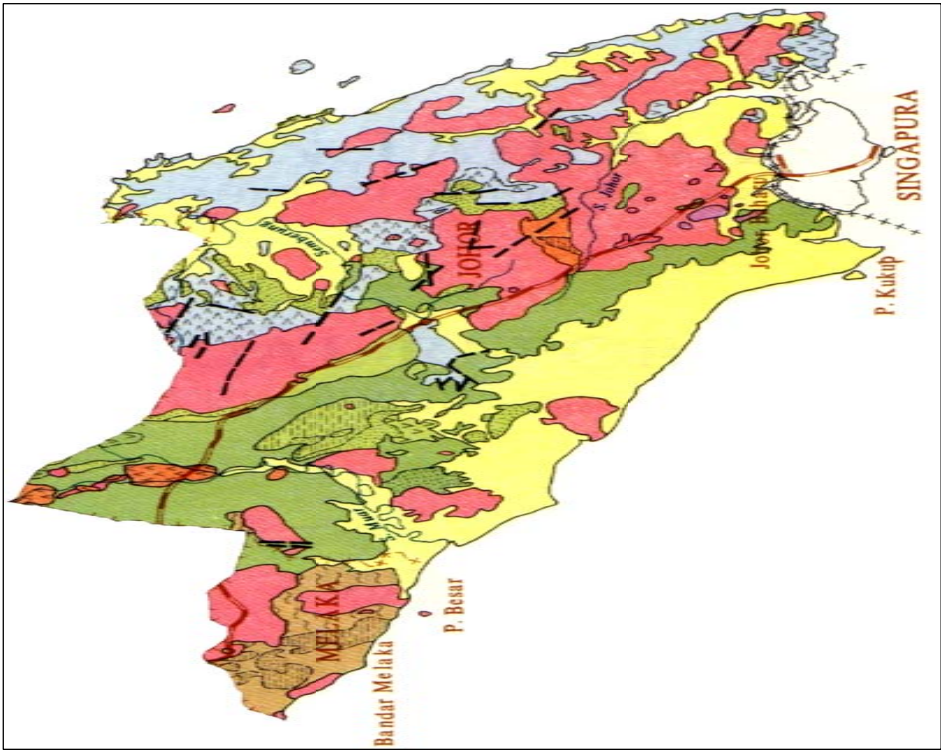
Rajah 6.11: Katalog Komposisi Kimia dan Mineralogi di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia



Rajah 6.12: Katalog Mikrostruktur dan Mikrofabrik di bahagian Tengah Semenanjung Malaysia



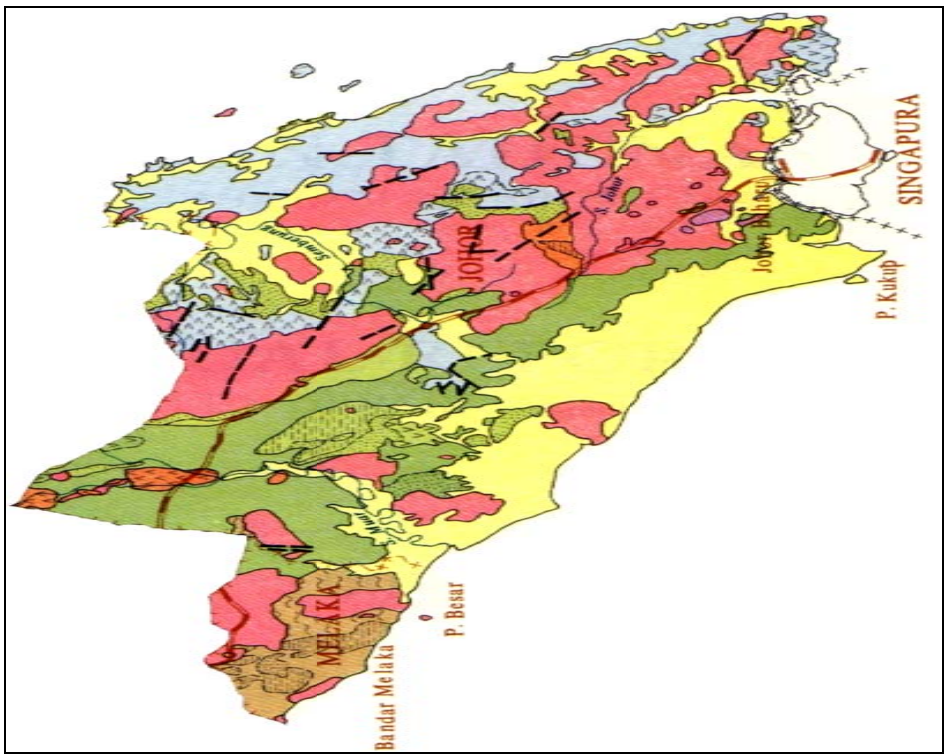
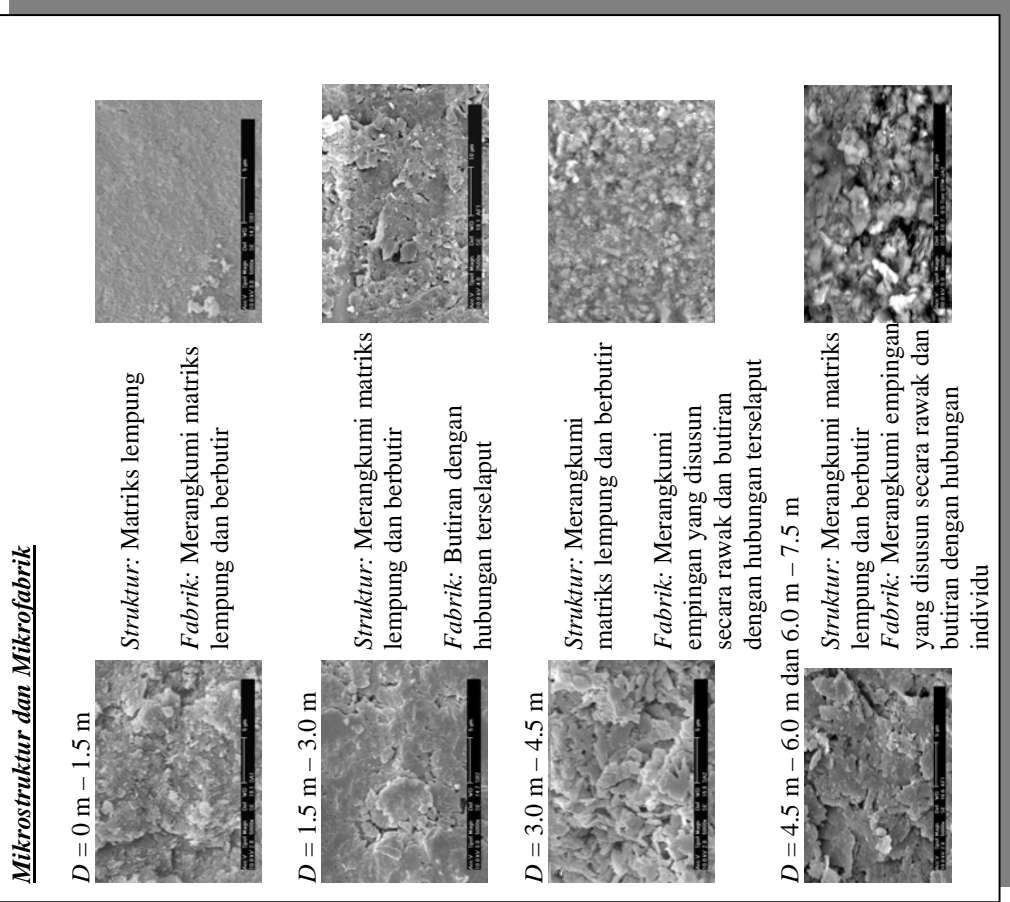
Rajah 6.13: Katalog Komposisi Kimia di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia



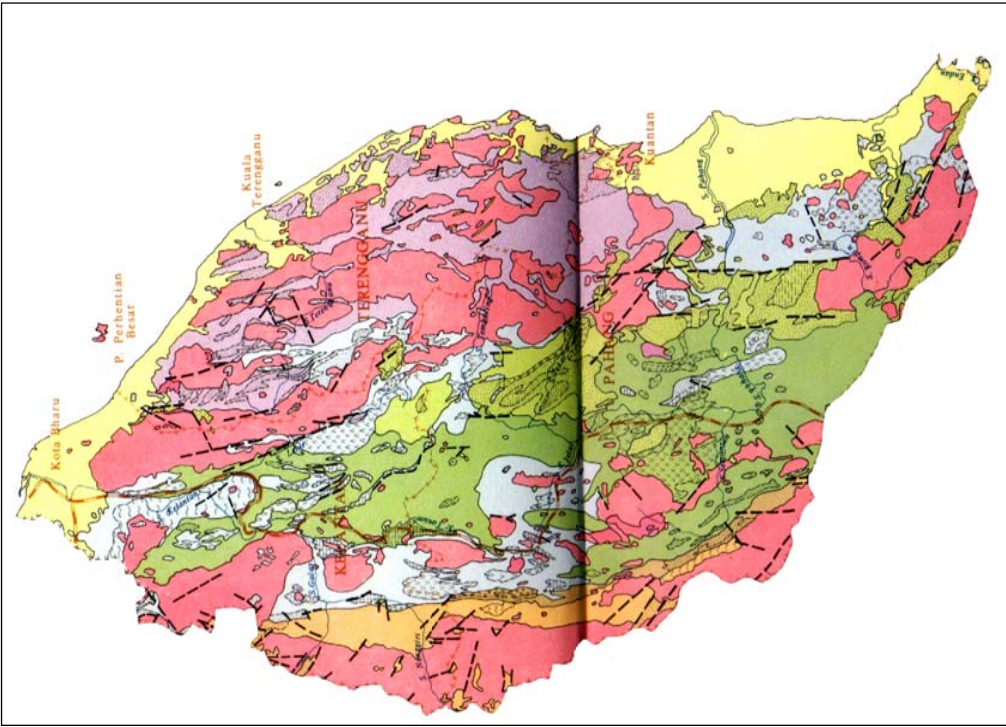
<i><u>Komposisi Kimia</u></i>		
D (m)	Nilai KPK (meq/100 g)	Kepekatan Kation
0 – 1.5	5.022 – 7.213	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
1.5 – 3.0	0.791 – 8.271	$K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
3.0 – 4.5	0.640 – 3.964	$Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$
4.5 – 6.0	6.382 – 8.648	$Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Ca^{2+}$
6.0 – 7.5		

<i><u>Kandungan Mineral</u> (dari Relatif terbanyak kepada Tersedikit)</i>	
D (m)	Kandungan Mineral Lazim
0 – 1.5	Kuarza dan Kaolinit > Montmorilonit dan Goetit > Gibbsit > Muskovit
1.5 – 3.0	Kaolinit > Kuarza > Muskovit > Montmorilonit dan Goetit > Ilit > Ortoklas/Mikrolin dan Gibbsit
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit dan Goetit > Gibbsit
4.5 – 6.0	Kuarza > Kaolinit > Montmorilonit > Muskovit
6.0 – 7.5	

Rajah 6.14: Katalog Komposisi Kimia dan Mineralogi di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia



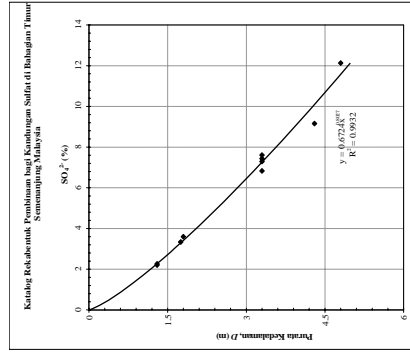
Rajah 6.15: Katalog Mikrostruktur dan Mikrofabrik di bahagian Selatan Semenanjung Malaysia



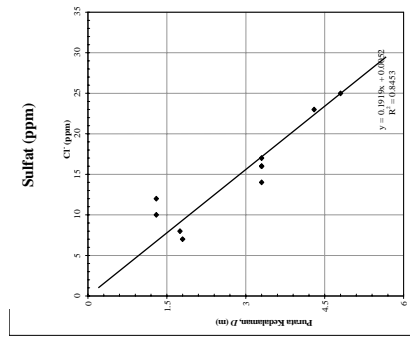
Komposisi Kimia

D (m)	Nilai pH	L.O.I. (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
0 – 1.5	4.85 – 5.32	15.40 – 15.58	37.25 – 40.54	27.12 – 32.57
1.5 – 3.0	4.69 – 6.33	9.29 – 14.12	38.94 – 60.42	20.49 – 31.20
3.0 – 4.5	4.95 – 6.11	9.32 – 15.41	38.83 – 62.02	19.57 – 31.76
4.5 – 6.0	5.27 – 5.57	7.94 – 8.81	56.66 – 61.18	20.22 – 22.25

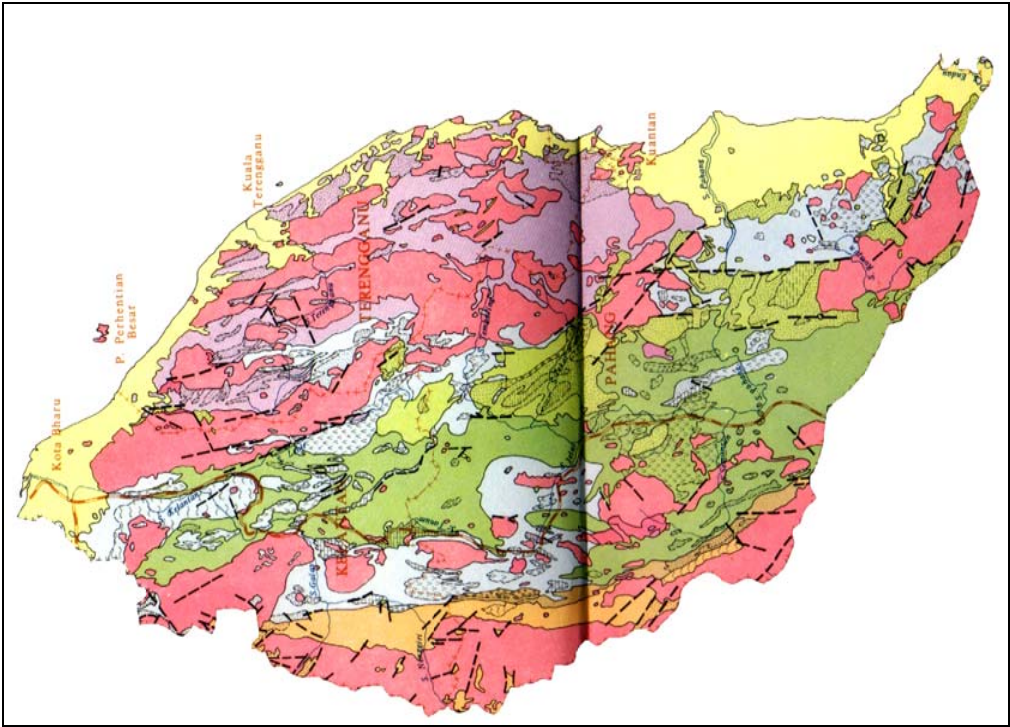
Sulfat, gunakan $(D/0.67)^{0.80}$



Klorida, gunakan $(D/0.21)^{0.97}$



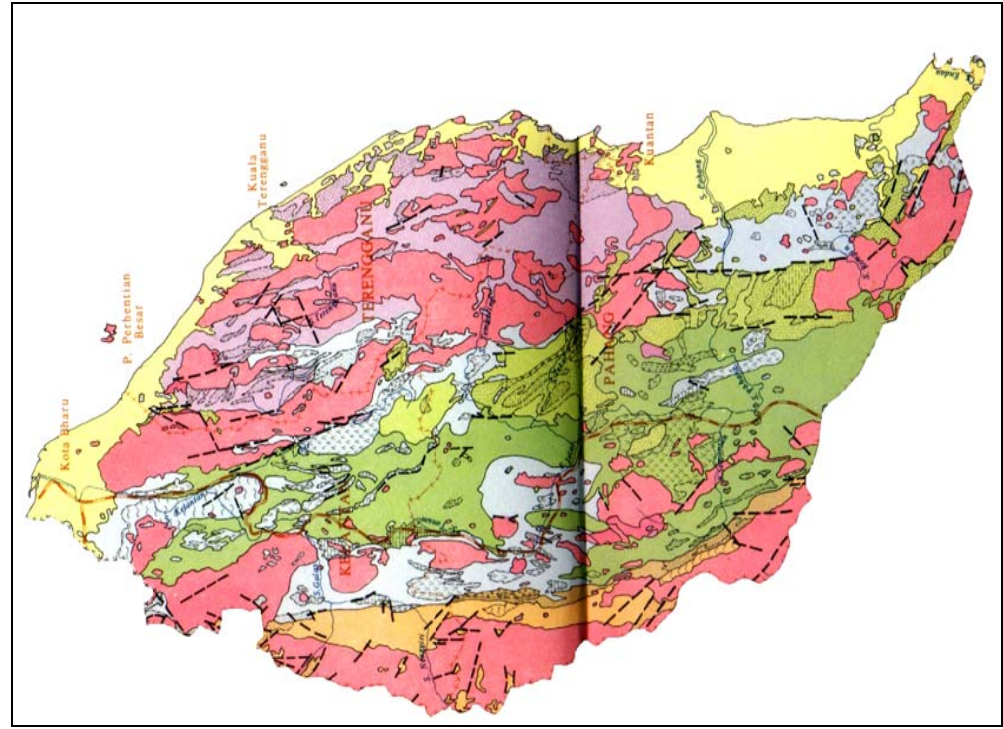
Rajah 6.16: Katalog Komposisi Kimia di bahagian Timur Semenanjung Malaysia



<u>Komposisi Kimia</u>		
D (m)	Nilai KPK (meq/100 g)	Kepekatan Kation
0 – 1.5	1.049 – 1.121	$\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$
1.5 – 3.0	9.542 – 12.875	$\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$
3.0 – 4.5	7.236 – 9.063	$\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$
4.5 – 6.0	5.416 – 8.807	$\text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$

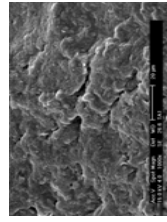
<u>Kandungan Mineral (dari Relatif terbanyak kepada Tersedikit)</u>	
D (m)	Kandungan Mineral Lazim
0 – 1.5	Kaolinit dan Kuarza > Goetiti > Ilit dan Gibbsit > Montmorilonit
1.5 – 3.0	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas > Goetit dan Ilit > Muskovit > Montmorilonit
3.0 – 4.5	Kuarza > Kaolinit > Muskovit > Ilit Goetiti > Gibbsit dan Montmorilonit
4.5 – 6.0	Kuarza > Kaolinit > Mikrolin/Ortoklas dan Muskovit > Ilit

Rajah 6.17: Katalog Komposisi Kimia dan Mineralogi di bahagian Timur Semenanjung Malaysia



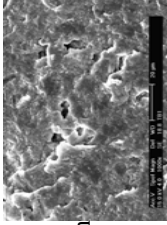
Mikrostruktur dan Mikrofabrik

$D = 0 \text{ m} - 1.5 \text{ m}$

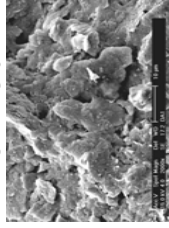


Struktur: Matriks lempung

Fabrik: Merangkumi empingan yang disusun secara rawak dan butiran dengan hubungan terselaput

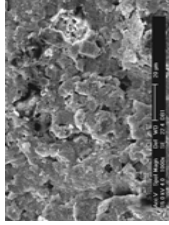


$D = 1.5 \text{ m} - 3.0 \text{ m}$

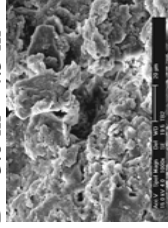


Struktur: Matriks lempung

Fabrik: Empingan yang disusun secara rawak

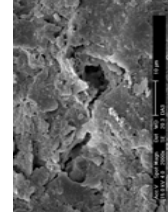


$D = 3.0 \text{ m} - 4.5 \text{ m}$

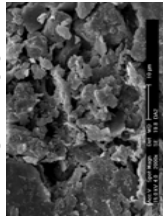


Struktur: Matriks lempung

Fabrik: Merangkumi empingan yang disusun secara rawak dan bergugus

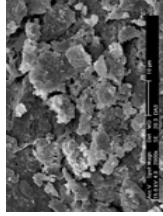


$D = 4.5 \text{ m} - 6.0 \text{ m}$



Struktur: Matriks lempung

Fabrik: Empingan yang disusun secara rawak



Rajah 6.18: Katalog Mikrostruktur dan Mikrofabrik di bahagian Timur Semenanjung Malaysia

BAB VII

KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.1 Kesimpulan

Objektif kajian bagi penyelidikan ini adalah menentukan ciri-ciri fizikal tanah, komposisi kimia tanah, mikrostruktur dan mineralogi, menyediakan katalog ringkas dan menghubungkan antara ciri-ciri kejuruteraan tanah baki di Semenanjung Malaysia. Data-data yang diperolehi diharapkan dapat membantu pihak tertentu seperti IKRAM, JKR, LLM, PLUS dan sebagainya dalam kerja-kerja rekabentuk awalan. Daripada kajian yang dijalankan, beberapa kesimpulan telah tercapai iaitu:

- (i) Kandungan lembapan semulajadi bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Ini kerana lempung yang mempunyai keluasan permukaan yang tinggi dapat menyerap dan mengekalkan kandungan air dengan lebih tinggi.
- (ii) Nilai graviti tentu tanah dipengaruhi oleh nisbah lompong asal dan kandungan lempung. Nilai graviti tentu berkurang dengan pertambahan nisbah lompong dan kandungan lempung.
- (iii) Kepelbagaian lengkung plotan taburan saiz zarah menunjukkan tanah baki adalah tak homogen dan dipengaruhi oleh suhu, taburan hujan dan bentuk mukabumi.

- (iv) Had cecair dan indeks keplastikan tanah dipengaruhi oleh kandungan lempung. Semakin tinggi kandungan lempung di dalam tanah, semakin tinggi nilai had cecair dan indeks keplastikan.
- (v) Berdasarkan nilai indeks kecairan, tanah baki adalah berkeadaan plastik sehingga kepada rapuh.
- (vi) Tanah baki mempunyai lempung yang tak aktif sehingga sangat aktif bergantung kepada kandungan mineral di dalam tanah.
- (vii) Berdasarkan pengelasan BSCS, tanah baki dikelaskan sebagai lempung hingga pasir berkelodak.
- (viii) Nisbah lompong asal adalah agak tinggi disebabkan oleh proses luluhawa kimia dan larut lesap. Ia juga dipengaruhi oleh kandungan lembapan di dalam tanah. Nisbah lompong meningkat dengan pertambahan kandungan lembapan semulajadi.
- (ix) Indeks mampatan tanah dipengaruhi oleh nisbah lompong, kandungan lempung, kandungan lembapan semulajadi dan had cecair dalam tanah. Indeks mampatan bertambah dengan nisbah lompong, kandungan lempung, kandungan lembapan semulajadi dan had cecair.
- (x) Pekali kebolehmampatan isipadu adalah rendah sehingga tinggi dan bergantung kepada nisbah lompong dan tekanan prapengukuhan. Pekali kebolehmampatan isipadu bertambah dengan pertambahan nisbah lompong tetapi berkurang dengan tekanan prapengukuhan.
- (xi) Nilai pekali kebolehtelapan adalah sangat kecil dan menunjukkan tanah baki Semenanjung Malaysia tersebut adalah tanah baki matang.
- (xii) Kejelekitan berkesan tanah baki adalah kecil sementara sudut geseran berkesan dipengaruhi oleh kandungan lempung dan kandungan lembapan semulajadi. Sudut geseran berkesan berkurang dengan pertambahan lempung dan kandungan lembapan semulajadi dalam tanah.
- (xiii) Parameter keadaan genting menunjukkan nilai M dan Γ masing-masing berjulat antara 1.16 – 1.32 dan 1.99 – 2.03. Nilai λ pula adalah 0.09.
- (xiv) Beberapa korelasi dan katalog ringkas telah dihasilkan bagi membolehkan para jurutera membuat rekabentuk awalan dengan mudah, cepat dan berkesan.

- (xv) Julat keseluruhan nilai pH bagi tanah baki di Semenanjung Malaysia adalah 4.34 hingga 6.34. Ini menunjukkan tanah baki granit adalah kumpulan tanah yang berasid.
- (xvi) Julat kehilangan berat semasa pembakaran (LOI) untuk tanah baki di Semenanjung Malaysia adalah 3.79 % hingga 18.81 %.
- (xvii) Bagi nilai kepekatan sulfat dan klorida, didapati julat masing-masing adalah 2.21 ppm hingga 17.58 ppm dan 6 ppm hingga 75 ppm di seluruh bahagian Semenanjung Malaysia. Kepekatan sulfat dan klorida bertambah dengan kedalaman.
- (xviii) Bagi peratus berat oksida, unsur-unsur yang menunjukkan peratus yang tertinggi adalah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O dan TiO_2 berbanding unsur-unsur yang lain seperti MnO , MgO , CaO , Na_2O dan P_2O_5 yang mencatatkan peratus julat yang kecil iaitu kurang daripada 1.86 %.
Secara ringkasnya:-
 - (a) Julat bagi peratus SiO_2 di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia adalah 28.54 % hingga 78.51 %.
 - (b) Julat bagi peratus Al_2O_3 di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia adalah 2.53 % hingga 40.78 %.
 - (c) Julat bagi peratus Fe_2O_3 di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia adalah 0.89 % hingga 13.05 %.
 - (d) Julat bagi peratus K_2O di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia adalah 0.05 % hingga 4.62 %.
 - (e) Julat bagi peratus TiO_2 di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia adalah 0.18 % hingga 2.21 %.
- (xix) Bagi kepekatan kation iaitu ion-ion Na^+ , K^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} , secara ringkasnya:-
 - (a) Julat bagi kepekatan kation K^+ di seluruh bahagian di Semenanjung Malaysia adalah 4.20 ppm hingga 730.23 ppm.
 - (b) Julat bagi kepekatan kation Na^+ di seluruh bahagian di Semenanjung Malaysia adalah 3.73 ppm hingga 80.03 ppm.
 - (c) Julat bagi kepekatan kation Ca^{2+} di seluruh bahagian di Semenanjung Malaysia adalah 0.88 ppm hingga 267.55 ppm.

- (d) Julat bagi kepekatan kation Mg^{2+} di seluruh bahagian di Semenanjung Malaysia adalah 2.03 ppm hingga 457.45 ppm.
 - (e) Ion Mg^{2+} mencatatkan kepekatan kation yang paling tinggi di bahagian Utara, Selatan dan Timur Semenanjung Malaysia. Ini menunjukkan bahawa kepekatan ion yang tinggi ini disebabkan oleh kehadiran mineral lempung iaitu mineral montmorilonit sebagai minor mineral dalam tanah baki granit.
 - (f) Ion K^+ merupakan ion terbanyak di bahagian Timur. Kepekatan ion yang paling tinggi ini pula mencatatkan bahawa ion ini dipengaruhi oleh satu lagi jenis mineral lempung yang minor yang hadir dalam tanah baki granit iaitu mineral ilit.
- (xx) Bagi taburan relatif mineral tanah baki granit, kesimpulan yang dapat dibuat adalah:-
- (a) Mineral kuarza dan kaolinit adalah mineral yang paling dominan hadir dalam tanah baki granit manakala mineral ilit, montmorilonit, gipsit, goetit, muskovit dan ortoklas/mikrolin hadir sebagai mineral minor.
 - (b) Korelasi peratus SiO_2 dan Al_2O_3 dengan kedalaman, yang menunjukkan peratus SiO_2 berkurangan manakala peratus Al_2O_3 adalah bertambah, menunjukkan kehadiran mineral gipsit yang terbentuk dalam pembentukan akhir liang-liang zarah tanah.
- (xxi) Keputusan ujikaji SEM yang telah dijalankan disokong oleh keputusan XRD yang mana keputusan SEM ini ditunjukkan dalam bentuk imej ataupun mikrofotograf. Kesimpulan yang dapat dibuat adalah:-
- (a) Daripada keseluruhan imej yang didapati, mikrostruktur tanah pada bahagian kedalaman cetek menunjukkan struktur tanah yang padat manakala pada kedalaman bawah pula, struktur tanah adalah longgar. Ini disebabkan oleh, kadar luluhawa yang berlaku pada bahagian kedalaman cetek telah mengalami

peratus luluhawa yang lebih tinggi berbanding pada kedalaman yang lebih jauh.

- (b) Pada bahagian kedalaman yang cetek, didapati tanah baki garnit di keseluruhan bahagian Semenanjung Malaysia menunjukkan mikrostruktur yang terdiri daripada lempung dan berbutir manakala mikrofabrik pula adalah terdiri daripada empingan yang disusun secara rawak dan sebahagiannya berbentuk butiran dengan hubungan terselaput.
- (c) Daripada imej SEM juga, jelas menunjukkan mineral lempung seperti kaolinit yang berbentuk empingan sahaja yang hadir dalam keseluruhan sampel manakala sebahagiannya menunjukkan kehadiran mineral kuarza yang berbentuk butiran dengan hubungan terselaput di sepanjang kedalaman tanah.

(xxii) Beberapa kesimpulan boleh didapati bagi korelasi mineralogi dengan ciri-ciri tanah seperti:-

- (a) Peratus unsur SiO_2 iaitu mineral kuarza berkurangan dengan pertambahan peratus had Atterberg. Ini disebabkan oleh mineral kuarza mempunyai sifat-sifat pengaruh iaitu merendahkan sifat-sifat keplastikan dalam tanah baki granit. Selain itu juga, korelasi penentuan tersebut menggambarkan kandungan mineral kuarza yang tinggi, menyebabkan tanah mempunyai kejeleketan yang kurang.
- (b) Peratus unsur Al_2O_3 dan Fe_2O_3 bertambah dengan pertambahan had Atterberg. Ini menunjukkan Al_2O_3 sebagai agen mineral lempung iaitu kaolinit adalah unsur yang mengawal sifat-sifat keplastikan tanah baki granit. Manakala, unsur Fe_2O_3 pula menunjukkan permukaan zarah tanah yang halus akan menggalakkan pembentukan mineral goetit sebagai mineral minor dalam tanah baki granit.
- (c) Korelasi mineralogi dengan kandungan lembapan menunjukkan peratus unsur Al_2O_3 dan Fe_2O_3 akan bertambah dengan pengurangan peratus kandungan lembapan. Al_2O_3 dan

Fe_2O_3 yang mana masing-masing sebagai unsur pembentukan kaolinit dan geotit, berupaya untuk memegang dan menyerap air dalam tanah. Semakin tinggi kehadiran mineral kaolinit dan goetit dalam tanah, proses penyerapan air oleh mineral-mineral ini menyebabkan kandungan lembapan yang rendah dalam zarah-zarah tanah.

- (d) Keputusan menunjukkan semakin tinggi kepekatan peratus oksida dalam tanah, kandungan lembapan air akan berkurangan yang disebabkan oleh proses serapan ion-ion OH^- oleh mineral-mineral dalam tanah yang menjadikan nilai kehilangan berat semasa pembakaran meningkat.
- (e) Manakala bagi korelasi mineralogi dengan kebolehpaya pertukaran kation, ia menunjukkan semakin tinggi peratus Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam tanah, maka nilai KPK juga meningkat. Ini adalah disebabkan oleh proses penyerapan kation yang meningkat.
- (f) Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam tanah akan meningkat dengan pertambahan nilai pH manakala SiO_2 pula meningkat dengan penurunan nilai pH. Nilai pH yang meningkat disebabkan oleh proses penyerapan ion-ion OH^- yang tinggi dalam tanah. Tambahan pula, semakin tinggi kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam tanah akan menyebabkan nilai LOI yang meningkat dan kandungan lembapan akan menurun. Ini adalah kerana proses penyerapan ion-ion OH^- yang tinggi dan keadaan menjadi semakin berasid.
- (g) Kebolehpaya pertukaran kation adalah bertambah dengan pertambahan nilai pH tanah. Apabila nilai pH bertambah, menjadikan tanah semakin beralkali, maka logam-logam alkali akan menjalani proses pemendapan dalam tanah. Oleh itu, apabila kepekatan kation tinggi, maka kadar KPK dalam tanah juga tinggi.

(xxiii) Bagi katalog ringkas yang telah disediakan, ianya bertujuan bagi memudahkan para perekabentuk membolehkan kerja-kerja rekabentuk

pada peringkat awalan dapat dijalankan dengan cepat. Maka, daripada katalog ringkas serta korelasi yang dibuat akan memberikan faedah kepada pihak-pihak yang tertentu yang terlibat dengan kerja-kerja pembinaan yang mana ia menyediakan satu panduan yang ekonomi dan selamat untuk digunakan.

7.2 Cadangan

Beberapa cadangan sebagai tambahan kepada kajian akan datang adalah:

- (i) Kajian ciri-ciri kejuruteraan terhadap tanah baki jenis lain seperti tanah baki sedimen dan metamorfik.
- (ii) Pengambilan lebih banyak sampel dimana bagi setiap lubang jara, lima sampel diambil pada kedalaman yang berlainan supaya korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan dengan kedalaman dapat dibuat dengan lebih tepat.
- (iii) Penggunaan pensampel yang mempunyai diameter lebih besar dan lebih panjang supaya sampel bagi ujian tak terganggu mencukupi.
- (iv) Membuat perbandingan di antara ujian di tapak dengan ujian di makmal.
- (v) Mengumpulkan data-data ujikaji yang diperoleh daripada badan-badan kerajaan dan swasta di seluruh malaysia bagi mewujudkan katalog dan korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan bagi tujuan rekabentuk.
- (vi) Dalam kajian yang akan datang, penulis mencadangkan agar kajian terhadap mineralogi, mikrofabrik dan mikrostruktur tanah dapat menggunakan peralatan yang berbeza selain daripada Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM), Pembelauan Sinar-X (XRD) dan Spektrofotometer Pendarflor Sinar-X (XRF). Peralatan-peralatan yang dicadangkan adalah seperti Spektroskopi Infra Merah, Analisis

Keberzaan Haba (DTA), Serbuk Kamera Sinar-X, Diffraktometer Sinar-X, Mikroskop Tranmisi Elektron (TEM) dan Keratan Nipis.

- (vii) Selain daripada pengujian seperti yang dinyatakan pada langkah (iii), pengujian terhadap komposisi kimia perlu diperluaskan lagi. Kajian-kajian yang boleh dijalankan adalah seperti mengetahui konduktiviti ataupun kerberaliran elektron dalam tanah iaitu melibatkan ujikaji konduktiviti, kandungan bahan organik dan karbonat, dan juga jumlah pepejal yang melarut dalam tanah. Oleh itu, pengujian terhadap kandungan bahan organik adalah disebabkan dalam tanah yang mana mengandungi baki-baki humus pokok dan bangkai haiwan yang telah mereput akan menjadikan kandungan bahan ini tinggi. Ia akan memberi kesan kepada struktur yang diletakkan dalam tanah. Kesan-kesan yang diwujudkan adalah seperti kemerosotan nilai keupayaan galas tanah, meningkatkan kebolehmampatan tanah, potensi pengecutan dan pengampulan berdasarkan peningkatan kandungan air dalam tanah. Manakala kesan karbonat pula dikatakan sebagai kehadiran kapur yang tinggi dalam tanah akan memberi kesan kepada konkrit dalam tanah.
- (viii) Korelasi antara sifat-sifat mikrofabrik/makrofabrik dengan sifat-sifat kejuruteraan tanah.
- (ix) Kajian lanjutan tentang pengaruh kesan luas permukaan ke atas kelakunan tanah lempung.

SENARAI DOKUMEN RUJUKAN

- Affendi, A., Ali, F.H. and Bujang, K.H. (1994a). "Moisture- Suction Variation in Partially Saturated Granitic Residual Soil." Regional Conference in Geotechnical Engineering 1994 (GEOTROPIKA'94) ,Melaka.
- Affendi, A., Chandrasegaran, S. and Ali, F.H. (1994b). "Triaxial Shear Tests on Partially Saturated Undisturbed Residual Soil." Regional Conference in Geotechnical Engineering 1994 (GEOTROPIKA'94), Melaka.
- Ali, F.H. (1990). "Improvement of a Residual Soils." Proceedings of Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, 1990, Taipei. 1. 3-4.
- Ali, F.H. (2000). "Unsaturated Tropical Residual Soils and Rainfall Induced Slopes Failures in Malaysia." Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils Unsat – Asia 2000, Singapore. 41-52.
- Aminaton, M., Fauziah, K., Mohd Fairus, Y., dan Khairul Nizar, M.Y. (2002). "Physical and Chemical Compositions of Residual Soils At Eastern Region of Peninsular Malaysia." *The 2nd World Engineering Congress 2002*, Universiti Putra Malaysia, 22 – 25 July 2002, Kuching, Sarawak.
- Anuar, K. and Ali, F.H. (1997). "Reinforced Modular Block Wall With Residual Soils as Backfill Material." Proceeding of 4th Regional Conference in Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 97), Johor Malaysia. 425-431.

- Atkinson, J. (1993). "An Introduction to Mechanics of Soils and Foundation." 1st. ed.
London : McGraw-Hill.
- Aung, K.K., Rahardjo, H., Toll, D.G., Leong, E.C. (2000). "Mineralogy and Microfabric of unsaturated residual soil." *Unsaturated Soils for Asia*. 317-321.
- Azzouz, A.S., Krizek, R.J. and Corotis, R.B. (1977). Regression Analysis of Soil Compressibility. *Soils and Foundation*, Vol. 16, No.2, pp 19-29.
- Baize, D. (1993). "Soil Science Analyses, A Guide to Current Use." John Wiley and Sons. West Sussex, England.
- Balasubramaniam, A.S., Bergado, D.T., Sivandran, C., and Ting, W.H. (1985). "Engineering Behavior of Soils in Southeast Asia." *Geotechnical Engineering In Southeast Asia. Bangkok*. Thailand. 25-95.
- Barksdale, R.D. and Blight, G.E. (1997). "Compressibility and Settlement of Residual Soils." dlm. Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 95-152.
- Beattie, A.A. and Attewill, L.J.S. (1977). "A Landslide Study in the Hong Kong Residual Soils." Proceeding 5th Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Bangkok, Thailand. 177-184.
- Beavis, F.C. (1992). Geologi Kejuruteraan. Terjemahan oleh Ibrahim, K. dan Tajul, A.J. Dewan Bahasa dan Pustaka. Kuala Lumpur.
- Blight, G.E. (1997). "Construction in Tropical Soils." 2nd *International Conference on Geomechanics in Tropical Soil*. Singapore. 1-37.

- Blight, G.E. (1997). "Origin and Formation of Residual Soils." in Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 1-15.
- Blight, G.E. and Simmons. (1997). "Profile Description and Sampling Methods." Mechanics of Residual Soil. Rotterdam, Netherlands. 47 – 50.
- Brady, N.C. (1974). "The Nature and Properties of Soils." Macmillan Pub, New York, 8th Edition. 97-110, 277-290, 303-317, 372-403, 456-483.
- Brand, E.W. (1982). "Analysis and Design in Residual Soils." Proceedings of the Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils. ASCE, Honolulu, Hawai. 89-129.
- Brand, E.W. (1985). "Predicting the Performance of Residual Soil Slopes." Proceeding of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol.5. 2541-2545.
- Brand, E.W. and Philipson, H.B. (1985). "Sampling and Testing of Residual Soils." Southeast Asian Geotechnical Society. Hong Kong: Scorpion Press.
- Brenner, R.P., Garga, V.K. and Blight, G.E. (1997). "Shear Strength Behaviour and the Measurement of Shear Strength in Residual Soils." dlm. Blight, G.E.. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A.Balkema, Rotterdam. 155-216.
- Bressani , L.A. and Vaughan, P.R. (1989). Proceeding of Conference on Damage to Soil Structure During Triaxial Testing., Rio di Jeniero.
- Brink, A.B.A. (1995). "The Engineering Geology of Igneous Rocks and Residual Soils Derived from them in South Africa. Ikram Geotechnical Meeting 1995. Vol 3. 56-75.

- Brink, A.B.A. and Kantey, B.A. (1961). "Collapsing Grain Structure in Residual Granite Soils in Southern Africa." dlm. Blight, G.E. (1997). "Mechanics of Residual Soils." A.A.Balkema. 8
- Brink, A.B.A., Partridge, T.C. and Williams, A.A.B. (1982). Introduction to Rocks, Soils and Landforms. Soil Survey for Engineering. 47-75.
- British Standards Institution (1990). "Soils for Civil Engineering Purposes." London : (BS 1377).
- Carter, M.K. (1993). "Soil Sampling and Methods of Analysis." Boca Raton, Fla: Lewis Publishing. 167 – 176.
- Cernica, J.N. (1995). "Geotechnical Engineering : Soil Mechanics" Canada : John Wiley & Sons, Inc. m.s. 256-288.
- Chan, S.F. and Chin, F.K. (1972). "Engineering Characteristics of the Soils Along the Federal Highway in Kuala Lumpur." Proceeding 3rd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Hong Kong. 41-45.
- Chang, M.F. (1988). "In-situ Testing of Residual Soils in Singapore." Proceedings of the Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore, 1. 97-108.
- Chang, M.F. and Broms, B.B. (1990). "Design of Bore Piles in Residual Soils on Field-Performace Data." Canadian Geotechnical Journal. Vol.28. 200-201.
- Chin, C.H., and Low, K.S. (1990). "Sampling with the Mazier Core Barrel." *Seminar on Geotechnical Aspects of the North-South Expressway*. 31-36.

- Collins, K., and McGown, A. (1974). "The Form and Function of Microfabric features in a Variety of Natural Soils." *Geotechnique* 24, No.2. 223-254.
- Cook, J.R., McGown, A., and Geotechnical Research Unit (JKR & IKRAM) (1996). "Tropical Weathered In-Situ Materials – Geotechnical Character of Profiles." *Geoguide* 4. 1 – 65.
- Craig, R.F. (1993). "Mekanik Tanah." Terjemahan Aminaton Marto, Fatimah Mohd Nor dan Fauziah Kasim. Edisi pertama. Johor, Malaysia: Unit Penerbitan Akademik UTM. 102-103
- Danielson, E.W., Denecke, E.J. (1986). "Weathering and Soil." *Earth Science*, Macmillan, New York. 203-219, 243-257.
- De Graft- Johnson, J.W.S., Bhatia, H.S. and Gidigas, M.D.(1969). "The Engineering Characteristics of a Lateritic Residual Clay of Ghana for Earth dam Construction." *Symposium of Earth Rockfill Dams*, New Delhi, 1 : 94-107.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J. (1966). "An Introduction to the Rock-Forming Minerals." Second Edition, Addison Wesley Longman Limited. London, England.
- Deere, D.V. and Patton, F.D. (1971). "Slope Stability in Residual Soils." *Proceeding 4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Puerto Rico. 1. 87-170.
- Deshmukh, A.M. and Amonkar, N.N. (2000). "Triaxial Testing of Laterite Soils." *Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils Unsat – Asia 2000*, Singapore. 501-503.

- Dowling, J.W.F. (1966). "The Occurance of Laterites in Northern Nigeria and Their Appearance in Aerial Photography." *Eng. Geol.*, 1 (3) : 221-233.
- Eswaran, H., and Wong, C.H. (1986). "A Study of a Deep Weathering Profile on Granite in Peninsular Malaysia: III, Alteration of Feldspars." *Soil Sci. Am. J.* 42, Science Society of America. 82-85.
- Fookes, P.G. (1986). "An Introduction to Weathered Rock and Residual Soils for Engineers." *Warta Geologi*, Vol. 12, No. 1-6. 60-71.
- Fookes, P.G. (1997). "Tropical Residual Soils." 1st. ed. London: The Geological Society London.
- Fourie, A.B. (1997). "Classification and Index Test." Dlm. Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 57-63.
- Garga, V.K. and Blight, G.E. (1997). "Permeability." dlm. Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 79-94.
- GDS Instruments Ltd. (2000). "The GDS Laboratory Users Handbook." United Kingdom: Manual.
- Gidigas, M.D. (1972). "Mode of Formation and Geotechnical Characteristics of Laterite Materials of Ghana in Relation to Soil Forming Factors." *Engineering Geology*, 6 : 79-150.
- Gidigas, M.D. and Bhatia, H.S. (1971). "Importance of Soil in the Engineering Studies of Laterite soils." *Proceeding of Regional Conference, Africa., Soil Mechanic Foundation Engineering.*, 5th, Luanda, Angola, 1: 255-260.

- Gidigasu, M.D.(1976). "Laterite Soil Engineering". Elevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Gillott, J.E. (1976). "Importance of Specimen preparation in Microscopy." Soil Specimen Preparation for Laboratory Testing." ASTM STP 599, American Society for Testing and Materials. 289-307.
- Grim, R.E. (1959). "Physico-Chemical Properties of Soils: Clay Minerals." dlm. Mohd Raihan, T., dan Ramli, M. (1990). "Pengenalan Kejuruteraan Geoteknik." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Hamzah, M. (1997a). "Pengenalan kepada Teknik Pendarflour Sinar-X (XRF)." UKM, Bangi, Selangor.
- Hamzah, M. (1997b). "Pengenalan kepada Teknik Pembelauan Sinar-X (XRD)." UKM, Bangi, Selangor.
- Hamzah, M., and Abdul Ghani, R. (1993). "The Distribution of Rare Earth Elements in Tropical Granitic Soil: A Case Study from Malaysia." *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 8. Nos. 1-4. 617-625.
- Han, K.K., Rahardjo, H. and Brooms, B.B. (1995). "Effect of Hysteresis on the Shear Strength of a Residual Soil". *Unsaturated Soils*. Vol 2. 499-504.
- Hansbo, S. (1994). "Foundation Engineering." Elsevier, Amsterdam, NET. 1-17.
- Hawkins, A.B., and Baxter, K.M. (1990). "Tropical Residual Soils, The Quarterly Journal of Engineering Geology." Geological Society Engineering Group Working Party Report, Vol. 23, No. 1-4. 1-100.

- Head, K.H. (1986). "Manual of Soil Laboratory". Volume 3: Effective Stress Tests. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Head, K.H. (1988). "Manual of Soil Laboratory". Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Test. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Head, K.H. (1992). "Manual of Soil Laboratory Testing". Volume 1: Soil Classification and Compaction Test. 2th.ed. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New York.
- Hutchison, C.S. and Gobbett, D.J. (1973). "Geology of the Malaysia Peninsular : West Malaysia and Singapore. Wiley-Interscience, New York, U.S.A.
- Irfan, T.Y. (1988). "Fabric Variability and Index Testing of a Granitic Saprolite." Proceeding of The Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore. 1. 25-35.
- Irfan, T.Y. (1996). "Suitability of Standard Classification and Index Test for Saprolitic and Residual Soils in Hong Kong." Fourth International Conference on Tropical Soils, Kuala Lumpur. 559-567.
- Jenny. H. (1941). "Factors of Soil Formation." New York: Mc Graw- Hill, 281.
- Kasa, A. and Ali, F.H. (1997). "Reinforced Modular Block Wall With Residual Soil as Backfill Material". 4th Regional Conference on Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 97), Johor, Malaysia. 425-430.
- Kepli, M.I. (1994). "Properties of Granite Derived Residual Soils." Mara Institute of Technology: Final Year Project.

- Khairul, N.M.Y. (2002). "Mineralogi, Mikrostruktur dan Komposisi Kimia Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis.
- Komoo, I. (1985). "Engineering Properties of Weathered Rock Profiles in Peninsular Malaysia." Eight Southeast Asian Geotechnical Conference. 1.3-81-3-84.
- Komoo, I. (1989). "Engineering Geology of Kuala Lumpur, Malaysia." Proceedings of The International Conference in Tropical Terrains, UKM, Bangi. 262-272.
- Komoo, I. and Mogana, S.N. (1988). "Physical Characterization of Weathering Profile of Clastic Metasediments in Peninsular Malaysia." Proceeding of the Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore. 1. 37-42
- Lamb, D.W. (1962). "Decomposed Granites as Fill Material with Particular Reference to Earth Dam Construction." Proceeding Symposium of Hong Kong Soils, Hong Kong, 1962, 57-71.
- Lambe, W.T. (1954). The Permeability of Fine-grained Soils. ASTM Spec. Tech. Publ., 163 : 56-57.
- Lee, C.M. (1967). "Shear Strength Characteristics of Undisturbed and Compacted Samples of Decomposed Granite from Malaya." Proceedings of the Second Symposium on Scientific and Technological Research in Malaysia and Singapore. Kuala Lumpur, 214 – 228.
- Legget, R.F., Hatheway, A.W. (1988). "Geology and Engineering." 3rd Edition, McGraw-Hill, New York. 41-65.
- Leong, E.C. and Rahardjo, H. (1995). "Typical Soil-Water Characteristic Curves for Two Residual Soils from Granitic and Sedimentary Formations". Unsaturated Soils. Vol.2. 519-524.

- Little, A.L. (1970). "Some Malayan Soil Mechanics Problems." Department of Engineering. Universiti Malaya. Vol. 9. 1-22.
- Little, A.L.(1969). "The Engineering Classification of Residual Tropical Soils." Proceedings of the Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils. Vol.1. 1-9
- Longanathan, N., Suraj, D.S.and Thurairajah, A. (1992). "Strength Correlation Factor for Residual Soils." Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 118. 593-609.
- Loughnan, F.C. (1969). "Chemical Weathering of The Silicate Minerals." American Elsevier Publishing Company, Inc. New York.
- Low, T.H., Hashim, S. and Ali, F.H. (1997). "Shear Strength of Undisturbed Partially Saturated Residual Soils. 4th Regional Conference in Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 97), Johor, Malaysia. 69-75.
- Lumb, P. (1962). "The Properties of Decomposed Granite." Geotechnique, 12 (3) : 226-243.
- Lumb, P. (1965). "The Residual Soils of Hong Kong". Geotechnique. Vol.15 : 180-194.
- MacKechnie, W.R. (1967). "Some Consolidation Characteristics of a Residual Mica Schist." Proceeding Regional Conference African Soil Mechanic Foundation Engineering. 4th, Cape Town, 2 :135-139.
- Marto, A. (1996). "Volumetric Compression of a Silt under Periodic Loading." University of Bradford: Tesis Ph.D.

- Matsui, T. and San, K.C. (1990). "Design Method for Reinforced Slope of Residual Soil." Proceeding of the Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei. 101-106.
- McLean, A.C. and Gribble, C.D. (1984). "Geology for Civil Engineer." 2nd. ed. London.
- Mitchell, K.J. (1993). "Fundamentals of Soil Behavior." John Wiley & Sons, Inc., New York, United States of America.
- Moh, Z.C. and Mazhar, M.F. (1969). "Effects of Method of Preparation On Index Properties of Lateritic Soils." Proceeding of The Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.1 ; 23-34.
- Mohd Fairus Yusof. (2003). "Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia. Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana.
- Mohd Raihan, T., dan Ramli, M. (1990). "Pengenalan Kejuruteraan Geoteknik." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Mohd Raihan, T., Dzevad, S., Zamri, C., and Khairul Anuar, M.N. (1997). "Geotechnical and Geoenviromental Aspects of Residual Soils." 4th *Regional Conference in Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 97)*. Johor, Malaysia. 331-341.
- Mohr, E.C.J. (1973). "Tropical Soils: A Comprehensive Study of their Genesis." 3rd Rev. and Enlarged Edition. The Haque: Mouton-Ichtiar Baru-Van Hoeve. 191-307.
- Moye, O.G. (1955). "Engineering Geology for the Snowy Mountains Scheme." Journal of Institution Engineers, Australia. 27. 281-299.
- Newill, D.(1961). "A Laboratory Investigation of Two Red Clays From Kenya." *Geotechnique*, 11 : 303-318.

- Nicholas, R.A. (1990). "Sampling Techniques in Soft Ground and Residual Soils." Seminar on Geotechnical Aspects of the North – South Expressway. 1-7.
- Nishida, K. And Aoyama, C. (1984). "Classification System of Decomposed Granite Soil in Undisturbed State". Proceedings of Japan Society of Civil Engineers No. 352/III-2.
- Nixon, I.K. and Skipp, B.O.(1957). "Airfield Construction on Overseas Soils, 5. Laterite. Proc. Brit. Inst. Civ. Eng., Lond., 8: 253-292.
- Onitsuka, K., Yoshitake, S. and Nanri, M. (1985). "Mechanical Properties and Strength Anistropy of Decomposed Granite Soil". Soil and Foundation, Vol.25, No.2, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation.
- Osipov, V.I. and Sokilov, V.N. (1978). "Structure Formation in Clays." dlm. Ibrahim, K. dan Tajul, A.J. (1992). "Geologi Kejuruteraan.". Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Othman, Y. (1982). "Sains Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Pender, M.J. (1971). "Some Properties of Weathered Greywacke". Proceedings of the First Australia – New Zealand Conference on Geomechanics, Melbourne. Volume 1. 423-428.
- Pereira, J.H.F. and Fredlund, D.G. (2000). "Volume Change Behavior of Collapsible Compacted Gneiss Soil." Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering. 907-916.
- Pichit, J., Suraphol, S. and Teera, T. (1990). "A Case Study of Landslide in Residual Soils in Central Highland of Thailand." Proceeding of the Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei. 169-174.

- Pitts, J. & Kannan, R. (1986). Residual Soil Development on Sedimentary Rocks of the Jurong Formation in Singapore. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*. 1. 453-468.
- Poh, K.B., Chuah, H.L. and Tan, S.B. (1985). "Residual Granite Soil of Singapore." *Proceedings of Eighth Southeast Asian Geotechnical Conference*, Kuala Lumpur.
- PWD (1976). "Geology of the Republic of Singapore." dlm. Rahardjo, H., Winn, K., and Peng, S.C. (2001). "Characterization of Residual Soils in Singapore." *Journal of the southeast Asian Geotechnical Society*. 1-13.
- Radwan, A.M. (1988). "Properties of Granitic Soil in Aswan, Egypt". *Proceedings of the 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils*. Singapore. 203 – 209.
- Radzali, D., dan Tuan Besar, T.S. (1992). "Mineral Lempung." *Dewan Bahasa dan Pustaka*, Kuala Lumpur.
- Rahardjo, H. (2002). "Rainfall- Induced Slope Failures". Main Report, School of Civil & Structural Engineering, Nanyang Technology University.
- Rahardjo, H., Lim, T.T., Chang, M.F. and Fredlund, D.G. (1995). "Shear-Strength Characteristics of a Residual Soil." *Canadian Geotechnical Journal*. Vol.32. No. 1-3. 60-77.
- Ramli Mohamad. (1991). "Malaysian Soils and Associated Problems." *Lecture Notes*, 4 Day Course on Geotechnical Engineering, Volume 3, Institution of Engineers Malaysia, 91, Petaling Jaya.

- Rao, S.M., Sridharan, A. dan Chandrakaran, S. (1988). "The Role of Iron Oxide in Tropical Soil Properties." *Proceedings of the 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils*. Singapore. 43 - 54.
- Road Research Laboratory. (1942). A Study of Mechanical Analysis and other Soil Classification Test for British Soils. Brit. Road Res. Lab., Note, 313 : 6
- Robert, W.D. (1992). "Influence of Structure and Composition of Residual Soils." *Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 118, No. 1-3. 343-344.
- Rollings, M.P. and Rollings, R.S. (1996). "Geotechnical Materials in Construction." 1st. ed. New York: McGraw-Hill. 28.
- Roslan, Z. (2001). "Relationship between Soil Grading Characteristic and Soil Erosion Risk." *6th Regional Conference in Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 2001)*. Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia, 05 – 07 November, 2001, Kuching, Malaysia. 107 - 116.
- Ruddock, E.C. (1967). "Residual Soils of the Kumasi District in Ghana." *Geotechnique*, 17: 359-377.
- Ruxton, B.P. and Berry. (1957). "Weathering of Granite and Associated Erosional Features in Hong Kong." *Bulletin of Geological Society Am.* 68. 22-52.
- Saravanan, M., Ali, F.H. and Low, T.H. (1999). "Soil-water Characteristics Relationship for Unsaturated Residual Soils." *World Engineering Congress'99-Towards the Engineering Vision : Global Challenges & Issues*, Kuala Lumpur. 237-241.

- Shamshuddin, J. (1985). "A Study of the Surface Properties of T2 Terrace Soils of Peninsular Malaysia." *Advances in Soil Research in Malaysia, Proceedings of the Technical Workshop on Soil Science organised by UPM/DOA/Belgium*, Serdang, Selangor. 207-215.
- Shamsuddin, J. (1983). "Asas Sains Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur. 61 -101.
- Simmons, J.V. and Blight, G.E. (1997). "Profile Description and Sampling Methods." dlm. Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 41-55
- Sinclair, T.J.E. (1980). "Strength and Compressibility Characteristics of a Laterite Residual Soil." 6th SouthEast Asian Conference on Soil Engineering, Taipei. 113-125.
- Sobri, A. (1993). "Engineering Characteristics of the Coastal Soft Soils of West Peninsular Malaysia." University of Strathclyde, Glasgow: Tesis Sarjana.
- Sreekantiah, H.R. (1987). "Laterite and Lateritic Soils of West Coast of India". Proceeding of the 9th Southeast Asian Geotechnical Conference Bangkok, Thailand. Vol.1 . 159-169.
- Strakhov, N.M. (1967). "The Principles of Lithogenesis." dlm. Blight, G.E. (1997) "Mechanics of Residual Soils." Balkema/Rotterdam/Brookfield, USA.
- Sueoka, T., Kaneko, S., Fujiwara, Y., and Fukazawa, M. (1996). "The Role of Iron in Granitic and Mudstone Residual Soils." 4th *International Conference on Tropical Soils*. Kuala Lumpur. 607 – 612.

- Suhaimi, A.T. and Abdul, R.M. (1994). "Effects of One Dimensional Infiltration on The Stability of Residual Soil Slope: A Case Study." Regional Conference in Geotechnical Engineering 1994 (GEOTROPIKA '94).
- Syed Sheikh, A. (1990). "Precision and Accuracy in Point-Counting a Thin-Section : A Case Study on a Kuala Lumpur - Karak Highway Granite Road-Cut." Sains Malaysiana. 16 (1) : 141-148 ; 1987
- Taha, M.R, Desa, H.M and Kabir, H. (2002). "The Use of a Granite Residual Soils as a Landfill Liner Material." Proceedings 2nd World Engineering Congress, Sarawak, Malaysia. 264-267.
- Taha, M.R, Sarac. D, Chik, Z and Nayan, K.A.M. (1997). "Geotechnical and Geoenvironmental Aspects of Residual Soils." Proceeding of 4th Regional Conference in Geotechnical Engineering (GEOTROPIKA 97), Johor, Malaysia. 331-341.
- Tan, B.K. (1996). "Physico-Chemical and Mineralogical Studies of Soils: Techniques." *4th International Conference on Tropical Soils*. Kuala Lumpur. 595-600.
- Tan, B.K. and Komoo, I. (1990). Urban Geology: Case Study of Kuala Lumpur, Malaysia. Engineering Geology, 28. 71-94
- Tan, B.K. and Ong, C.Y.(1993). "Physico-Chemical Properties of Granitic Soils Along the Ipoh-Changkat Jering Expressway, Perak, Malaysia." Conference on Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore. 217-221.
- Tan, B.K.(1995). "Some Experience on Weathering of Rocks and Its Engineering Significance in Malaysia." Ikram Geotechnical Meeting 1995. Workshop on Comparative Geotechnical Engineering Practice. Novotel, Penang. Vol.2.

- Tan, K.H. (1992). "Principles of Soil Chemistry." 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc., New York. 229 – 305.
- Terzaghi, K. (1958). "Design and Performance of Sasamua Dam." Proceedings Institution Civil Engineers, London. 9. 369-394.
- Ting, W.H. and Ooi, T.A. (1972). "Some Properties of a Malaysian Residual Granite Soil". Proceeding 3rd. S.E.A. Conference Soil Engineering, Hong Kong, 67-71.
- Ting, W.H. and Ooi, T.A.(1976). "Behaviour of A Malaysian Residual Granite Soil as a Sand-Silt-Clay Composite Soil." Geotechnical Engineering. Vol.7.67-78.
- Todo, H. and Pauzi, M.M. (1989). "Geotechnical Engineering Properties of Residual Soils Originated from Granite in Malaysia and Singapore." Proceedings of the International Conference in Tropical Terrains, UKM, Bangi, 160-169.
- Todo, H., Sagae, T., Orihara, K. and Yokokawa, K. (1994). "Geotechnical Property of Kenny Hill Formation in Kuala Lumpur." Geotropika'94 : Regional -Conference in Geotechnical Engineering '94.
- Toll, D.G., Ong, B.H. and Rahardjo, H. (2000). "Triaxial testing of Unsaturated Samples of Undisturbed Residual Soil from Singapore." Proceedings of the Asian Conference on Unsaturated Soils Unsat – Asia 2000, Singapore. 581-586.
- Tovey, N.K. (1973). "Techniques of Observation and Methods of Quantification." Appendix to Proceedings of the International Symposium of Soil Structure. Gothenburg. 1-19.
- Tovey, N.K. (1986). "Microfabric, Chemical and Mineralogical Studies of Soils: Techniques." *Geotechnical Engineering*, Vo. 17. 131-165.

- Tovey, N.K. and Wong, K.Y. (1975). "A new Specimen Preparation Technique for the Scanning Electron Microscope." *Technical Notes*. 142-145.
- Tovey, N.K., and Yan, W.K. (1973). "The preparation of Soils and other Geological Materials for the SEM." *Int. Symp. On Soil Structure, Gothenburg*. 59-66.
- Townsend, F.C. (1985). "Geotechnical Characteristics of Residual Soils." *Journal of Geotechnical Engineering*. Vol.111. 77-92.
- Townsend, R.C., Manke, G.P and Parcher, J.V. (1969). Effect of Remoulding on the Properties of Laterite Soil. *Highway Res. Board, Rec.*, 284 : 76-84.
- Townsend, R.C., Manke, G.P and Parcher, J.V. (1971). The Influence of Sesquioxides on Laterite Soil Properties. *Highw. Res. Board, Rec.*, 374 : 80-92.
- Tuncer , E.R. (1988). "Pore Size Distribution Characteristics of Tropical Soils in Relation to Engineering Properties." *Proceeding of the Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils Singapore*. Vol. 1. 63-75.
- Uehara, G. (1982). "Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils." dlm. "Soil Science for the Tropics." *ASCE Geotechnical Division Specialty Conference, Honolulu, Hawai*. 13-26.
- Vallerga, B.A., Schuster, J.A., Love, A.L. and Van Til, C.J. (1969). "Engineering Study of Laterite and Lateritic Soils in Connection with Construction of Roads, Highway and Airfields.", *U.S. Agency Int. Dev., Rep. USAID/CSD-1810*, 165.
- Van der Merve, D.H. (1965). "The soil and Their Engineering Properties of an area between pretoria North and Brits. *University of Pretoria : Thesis DSc*.

- Vargas, M. (1953). "Correlation Between Angle of Internal Friction and Angle of Shearing Resistance in Consolidated Quick Triaxial Compression Test on Residual Clays". Proceedings of International Conference Soil Mechanic Foundation Engineering. 6th, Montreal 2 : 578-582.
- Vaughan, P.R. (1988). "Characterising the Mechanical Properties of In Situ Residual Soil." Proceeding of Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore 2: 20-37.
- Wan Fuad, W.H., dan Alias, S. (1989). "Prinsip-prinsip Geokimia." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Wan Fuad, W.H., dan Tan, T.H. (1997). "Geologi dalam Penjelajahan Mineral, Bahagian 1." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Weinert, H.H. (1974). A Climatic Index of Weathering and it Application in Road Construction. *Geotechnique* 24 (4) : 471-494.
- Wesley, L.D. (1988). "Engineering Classification or Residual Soils." Proceeding Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore. 1. 77-84.
- Wesley, L.D. and Irfan, T.Y. (1997). "Classification of Residual Soils." in Blight, G.E. "Mechanics of Residual Soils." Netherlands: A.A. Balkema. 17-28.
- West, G. dan Dumbleton, M.J. (1970). "The Mineralogy of Tropical Weathering Illustrated by some West Malaysian Soils." *Quarterly Journal of Engineering Geology*. Vol. 3. Great Britain. 25 – 40.
- Winn, K., Rahardjo, H. and Peng, S.C. (2001). "Characterization of Residual Soils in Singapore." *Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society*. 1-13.

- Yalcin, B.A., and David, E.D. (2000). "Characterization, Containment, Remediation and Performance in Environment Geotechnics." *Geoenvironment 2000*. Vol 2. U.S.A. 1518 – 1533.
- Yong, R.N. (1975). "Nature of Soils, Soil Fabric and Structure." Soil Properties and Behaviour, Vol. 5. Elsevier Scientific, Amsterdam. 1-9, 71-100.
- Yong, R.N., Chen, C.K., Jeevan, S. and Chong, T.S. (1985). "The Characterization of Residual Soils in Singapore." Eighth Southeast Asian Geotechnical Conference. Kuala Lumpur, Malaysia. Vol.1. 19-26.
- Za-Chieh, M dan Mirza, F.M. (1969). "Effects of Method Preparation on Index Properties of Lateritic Soils". *Proceedings of the Specialty Session, Engineering Properties of Lateritic Soils*. Vol. 1. Bangkok, Thailand. No. 23 - 36.
- Zauyah, S. (1985). "Weathering Phenomena and The Evolution of Soils Developed on Granitic Gneiss". Advances in Soil Research in Malaysia, *Proceedings of the Technical Workshop on Soil Science organised by UPM/DOA/Belgium*, Serdang, Selangor. 231 - 242.
- Zhao, J. (1994). "Engineering Properties of the Weathered Bukit Timah Granite and Residual Soils." Regional Conference in Geotechnical Engineering 94. Melaka, Malaysia.